

TITLE OF THE INVENTION

結像光学系及びそれを用いた撮像装置

This application claims benefit of Japanese Application(s) No. 2003-2828 filed in Japan on 1.9, 2003, No. 2003-20587 filed in Japan on 1.29, 2003, No. 2003-39480, 2003-39481 filed in Japan on 2.18, 2003, No. 2003-44053 filed in Japan on 2.21, 2003, the contents of which are incorporated by this reference.

BACKGROUND OF THE INVENTION

本発明は、結像光学系とそれを用いた撮像装置に関するものであり、特に、CCDやCMOS等の固体撮像素子等を用いたデジタルスチルカメラ、デジタルビデオカメラ、携帯電話や、パソコンに搭載される小型カメラ、監視カメラ等の撮像装置に関するものである。

近年、銀塩フィルムに代わり、CCDやCMOSのような固体撮像素子を用いて被写体を撮影するようにした電子カメラが普及してきている。このような電子カメラの中、携帯型コンピュータや携帯電話等に搭載される撮像装置では、特に小型、軽量化が求められている。

このような撮像装置に用いる結像光学系として、従来よりレンズ枚数を1枚若しくは2枚で構成したものがある。しかしながら、これらは、収差論で明らかのように、像面湾曲が補正できず高い性能は望めないことは既に知られている。そのため、高性能を満たすには3枚以上のレンズで構成することが必要である。

一方、CCDの場合、結像レンズ系から射出された軸外光束が像面に対して余りに大きな角度で入射すると、マイクロレンズの集光性能が十分に発揮されず、

画像の明るさが画像中央部と画像周辺部で極端に変化するという問題が生じてしまう。そのため、CCDへの光線入射角、すなわち、射出瞳位置が設計上重要である。枚数の少ない光学系の場合には、明るさ絞りの位置が重要になる。

これらの問題を考慮したものとして、フロント絞りのトリプレットタイプがあげられる。そのような結像レンズとして、特許文献1、特許文献2、特許文献3、特許文献4、特許文献5、特許文献6等で開示されている。

ところが、何れの先行例も性能と大きさの点で問題があった。

【特許文献1】

特開平1-144007号公報

【特許文献2】

特開平2-191907号公報

【特許文献3】

特開平4-153612号公報

【特許文献4】

特開平5-188284号公報

【特許文献5】

特開平9-288235号公報

【特許文献6】

特開2001-75006号公報

SUMMARY OF THE INVENTION

本発明は従来技術のこのような問題点に鑑みてなされたものであり、その目的は、高性能化と小型化を同時に満たす結像光学系及びそれを用いた撮像装置を提供することである。

本発明の別の目的は、高性能化と小型化を同時に満たし広角化にも耐える結像光学系及びそれを用いた撮像装置を提供することである。

本発明のさらに別の目的は、高性能化と小型化を同時に満たす半画角が35°程度の広角の結像光学系及びそれを用いた撮像装置を提供することである。

上記目的を達成する本発明は第1の発明～第5の発明からなる。

第1の発明の結像光学系は、物体側から順に、明るさ絞りと、像側に凸面を向けた第1正メニスカスレンズと、両凹の第2負レンズと、第3正レンズの3枚のレンズからなることを特徴とするものである。

第1の発明の撮像装置は、物体側から順に、明るさ絞りと、像側に凸面を向けた第1正メニスカスレンズと、両凹の第2負レンズと、第3正レンズの3枚のレンズからなる結像光学系を備えたことを特徴とするものである。

この場合、3枚のレンズの像側に配された撮像素子を備えていることが望ましい。

また、3枚のレンズを各々単レンズとし、3枚のレンズにて形成される2つの空気レンズが、形状の異なる2つの屈折面に挟まれて構成されていることが望ましい。その場合に、2つの空気レンズが形状の異なる2つの非球面に挟まれて構成されたていることが望ましい。

第1の発明の別の撮像装置は、物体側から順に、明るさ絞りと、像側の光軸上曲率半径の絶対値が物体側の光軸上曲率半径の絶対値よりも小さい正単レンズの第1正レンズと、像側の光軸上曲率半径の絶対値が物体側の光軸上曲率半径の絶対値よりも小さい負単レンズの第2負レンズと、正単レンズの第3正レンズの3枚の単レンズからなる結像光学系と、その像側に配された撮像素子とを有し、以下の条件を満足することを特徴とするものである。

$$0.30 < f_1 / I_h < 0.90 \quad \dots \quad (10)$$

$$-0.75 < f_2 / I_h < -0.1 \quad \dots \quad (3)$$

$$0.70 < f_3 / I_h < 2.00 \quad \dots \quad (11)$$

ただし、 f_1 は第1正レンズの焦点距離、 f_2 は第2負レンズの焦点距離、 f_3 は第3正レンズの焦点距離、 I_h は最大像高である。

第1の発明のさらに別の撮像装置は、物体側から順に、明るさ絞りと、像側の光軸上曲率半径の絶対値が物体側の光軸上曲率半径の絶対値よりも小さい正単レンズの第1正レンズと、像側の光軸上曲率半径の絶対値が物体側の光軸上曲率半径の絶対値よりも小さい負単レンズの第2負レンズと、正単レンズの第3正レン

ズの3枚の単レンズからなる結像光学系と、その像側に配された撮像素子とを有し、以下の条件を満足することを特徴とするものである。

$$0.1 < f_1 / f < 0.46 \quad \dots \quad (9-3)$$

$$-0.75 < f_2 / f < -0.29 \quad \dots \quad (12)$$

$$0.40 < f_3 / f < 0.85 \quad \dots \quad (13)$$

ただし、 f_1 は第1正レンズの焦点距離、 f_2 は第2負レンズの焦点距離、 f_3 は第3正レンズの焦点距離、 f は全系の焦点距離である。

以上において、次の条件式を満足することが望ましい。

$$-0.5 < (r_{2f} + r_{2r}) / (r_{2f} - r_{2r}) < 0.98 \quad \dots \quad (1)$$

ただし、 r_{2f} は第2負レンズの物体側面の光軸上曲率半径、 r_{2r} は第2負レンズの像側面の光軸上曲率半径である。

また、次の条件式を満足することが望ましい。

$$0.01 < r_{1r} / r_{2f} < 0.75 \quad \dots \quad (2)$$

ただし、 r_{1r} は第1正レンズの像側面の光軸上曲率半径、 r_{2f} は第2負レンズの物体側面の光軸上曲率半径である。

また、次の条件式を満足することが望ましい。

$$-0.75 < f_2 / I_h < -0.1 \quad \dots \quad (3)$$

ただし、 f_2 は第2負レンズの焦点距離、 I_h は最大像高である。

また、次の条件式を満足することが望ましい。

$$-5.0 < f_{2-3} / f < -0.1 \quad \dots \quad (4)$$

ただし、 f_{2-3} は第2負レンズと第3正レンズの合成焦点距離、 f は全系の焦点距離である。

また、次の条件式を満足することが望ましい。

$$-0.8 < f_2 / f_3 < -0.1 \quad \dots \quad (5)$$

ただし、 f_2 は第2負レンズの焦点距離、 f_3 は第3正レンズの焦点距離である。

。

また、第2負レンズの物体側の面は非球面からなり、次の条件式を満たすことが望ましい。

$$0.01 < |(r_{2fs} + r_{2fa}) / (r_{2fs} - r_{2fa}) - 1| < 1.00 \quad \dots (6)$$

ただし、 r_{2fs} は第 2 負レンズの物体側面における光軸上の曲率半径、 r_{2fa} は第 2 負レンズの物体側面の非球面を考慮した曲率半径の中、光学有効範囲内で最も変化したときの値である。

また、第 2 負レンズの像側の面は非球面からなり、次の条件式を満足することが望ましい。

$$0.01 < |(r_{2rs} + r_{2ra}) / (r_{2rs} - r_{2ra}) - 1| < 1.00 \quad \dots (7)$$

ただし、 r_{2rs} は第 2 負レンズの像側面における光軸上の曲率半径、 r_{2ra} は第 2 負レンズの像側面の非球面を考慮した曲率半径の中、光学有効範囲内で最も変化したときの値である。

また、次の条件式を満たすことが望ましい。

$$10^\circ < \alpha < 40^\circ \quad \dots (8)$$

ただし、 α は最大像高における主光線の像面への入射角度である。

また、次の条件式を満たすことが望ましい。

$$0.1 < f_1 / f < 1.2 \quad \dots (9)$$

ただし、 f_1 は第 1 正レンズの焦点距離、 f は全系の焦点距離である。

前記目的を達成する第 2 の発明の結像光学系は、物体側から順に、明るさ絞り、第 1 正レンズ、第 2 負レンズ、第 3 正レンズの順に配置され、次の条件式を満たすことを特徴とするものである。

$$1.5 < d / (f \cdot \tan \theta) < 3.0 \quad \dots (21)$$

ただし、 d は結像光学系の明るさ絞り面から像面までの光軸に沿って測った距離、 θ は結像光学系の最大入射角、 f は全系の焦点距離である。

第 2 の発明のもう 1 つの結像光学系は、物体側から、明るさ絞り、像側に凸面を向けた第 1 正メニスカスレンズ、第 2 負レンズ、第 3 正レンズの順に配置され、次の条件式を満たすことを特徴とするものである。

$$-5.0 < f_{2-3} / f < -0.5 \quad \dots \quad (22)$$

ただし、 f_{2-3} は第 2 負レンズと第 3 正レンズの合成焦点距離、 f は全系の焦点距離である。

前記目的を達成する第 3 の発明の第 1 の結像光学系は、物体側から順に、明るさ絞り、像側に凸面を向けた第 1 正メニスカスレンズ、第 2 負レンズ、第 3 正レンズの順に配置され、次の条件式を満たすことを特徴とするものである。

$$0.1 < f_1 / f < 0.55 \quad \dots \quad (31)$$

ただし、 f_1 は第 1 正レンズの焦点距離、 f は全系の焦点距離である。

第 3 の発明の第 2 の結像光学系は、物体側から順に、明るさ絞り、像側に凸面を向けた第 1 正メニスカスレンズ、第 2 負レンズ、第 3 正レンズの順に配置され、次の条件式を満たすことを特徴とするものである。

$$1.0 < (r_{1f} + r_{1r}) / (r_{1f} - r_{1r}) < 1.7 \quad \dots \quad (32)$$

ただし、 r_{1f} は第 1 正レンズの物体側曲率半径、 r_{1r} は第 1 正レンズの像側曲率半径である。

前記目的を達成する第 4 の発明の第 1 の結像光学系は、物体側から順に、明るさ絞り、像側に凸面を向けた第 1 正メニスカスレンズ、第 2 負レンズ、第 3 正レンズの順に配置され、次の条件式を満たすことを特徴とするものである。

$$-0.55 < f_2 / f_3 < -0.1 \quad \dots \quad (41)$$

ただし、 f_2 は第 2 負レンズの焦点距離、 f_3 は第 3 正レンズの焦点距離である。

第 4 の発明の第 2 の結像光学系は、物体側から順に、明るさ絞り、像側に凸面を向けた第 1 正メニスカスレンズ、第 2 負レンズ、第 3 正レンズの順に配置され、次の条件式を満たすことを特徴とするものである。

$$-2.0 < (r_{3f} + r_{3r}) / (r_{3f} - r_{3r}) < 0.85 \quad \dots \quad (42)$$

$$0.1 < \beta_3 < 1.0 \quad \dots \quad (43)$$

ただし、 r_{3f} は第 3 正レンズの物体側面の光軸上曲率半径、 r_{3r} は第 3 正レンズ

の像側面の光軸上曲率半径、 β_3 は第 3 正レンズの横倍率である。

前記目的を達成する第 5 の発明の第 1 の結像光学系は、物体側から順に、明るさ絞り、像側に凸面を向けた第 1 正メニスカスレンズ、物体側に凸面を向けた第 2 負メニスカスレンズ、第 3 正レンズの順に配置され、次の条件式を満たすことを特徴とするものである。

$$-0.35 < r_{1r} / r_{2r} < -0.08 \quad \dots \quad (61)$$

$$-1.5 < r_{1r} / r_{2r} < -0.75 \quad \dots \quad (62)$$

ただし、 r_{1r} は第 1 正レンズの像側面の光軸上曲率半径、 r_{2r} は第 2 負レンズの物体側面の光軸上曲率半径、 r_{3r} は第 3 正レンズの像側面の光軸上曲率半径である。

第 5 の発明の第 2 の結像光学系は、物体側から順に、明るさ絞り、第 1 正レンズ、物体側に凸面を向けた第 2 負メニスカスレンズ、第 3 正レンズの順に配置され、次の条件式を満たすことを特徴とするものである。

$$0.2 < r_{2r} / r_{3r} < 3.5 \quad \dots \quad (63)$$

ただし、 r_{2r} は第 2 負レンズの物体側面の光軸上曲率半径、 r_{3r} は第 3 正レンズの物体側面の光軸上曲率半径である。

Still other objects and advantages of the invention will in part be obvious and will in part be apparent from the specification.

The invention accordingly comprises the features of construction, combinations of elements, and arrangement of parts which will be exemplified in the construction hereinafter set forth, and the scope of the invention will be indicated in the claims.

BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

図 1 は第 1 の発明の結像光学系の実施例 1 の無限遠物点合焦時のレンズ断面図である。

図 2 は実施例 2 の結像光学系の図 1 と同様のレンズ断面図である。

図3は実施例3の結像光学系の図1と同様のレンズ断面図である。

図4は実施例4の結像光学系の図1と同様のレンズ断面図である。

図5は実施例1の無限遠物点合焦時の収差図である。

図6は実施例2の無限遠物点合焦時の収差図である。

図7は実施例3の無限遠物点合焦時の収差図である。

図8は実施例4の無限遠物点合焦時の収差図である。

図9は撮像素子にて撮影を行う場合の最大像高 I_h を定義する有効撮像面の対角長Lについて説明するための図である。

図10は撮像素子の撮像面に視野枠を配する場合の最大像高 I_h を定義する有効撮像面の対角長Lについて説明するための図である。

図11は近赤外シャープカットコートの一例の透過率特性を示す図である。

図12はローパスフィルターの射出面側に設ける色フィルターの一例の透過率特性を示す図である。

図13は補色モザイクフィルターの色フィルター配置を示す図である。

図14は補色モザイクフィルターの波長特性の一例を示す図である。

図15は絞りの開口形状を開放状態としたことを示す図である。

図16は絞りの開口形状を2段絞りとした状態を示す図である。

図17は形状と透過率の異なる形状固定の複数の明るさ絞りを設けたターレットを配置した第1の発明～第5の発明の結像光学系の構成を示す斜視図である。

図18は図17に示すターレットに代わる別のターレットを示す正面図である。

図19は第1の発明～第5の発明において利用可能な別のターレット状の光量調整フィルターを示す図である。

図20は光量ムラを抑えるフィルターの例を示す図である。

図21はロータリーフォーカルプレーンシャッターの例を示す裏面図と表面図である。

図22は図21のシャッターのロータリーシャッター幕が回転する様子を示す図である。

図23はインターレース式CCD撮像の動作説明図である。

図24はプログレッシブ式CCD撮像の動作説明図である

図25は第1の発明～第5の発明による結像光学系を組み込んだデジタルカメラの外観を示す前方斜視図である。

図26は図25のデジタルカメラの後方斜視図である。

図27は第1の発明～第4の発明による結像光学系を組み込んだデジタルカメラの断面図である。

図28は第1の発明～第5の発明による結像光学系が対物光学系として組み込まれたパソコンのカバーを開いた前方斜視図である。

図29は第1の発明～第4の発明による結像光学系を組み込んだパソコンの撮影光学系の断面図である。

図30は図28の状態の側面図である。

図31は第1の発明～第4の発明による結像光学系が対物光学系として組み込まれた携帯電話の正面図、側面図、その撮影光学系の断面図である。

図32は第2の発明の結像光学系の実施例1の無限遠物点合焦時のレンズ断面図である。

図33は実施例2の結像光学系の図32と同様のレンズ断面図である。

図34は実施例3の結像光学系の図32と同様のレンズ断面図である。

図35は実施例4の結像光学系の図32と同様のレンズ断面図である。

図36は実施例5の結像光学系の図32と同様のレンズ断面図である。

図37は実施例1の無限遠物点合焦時の収差図である。

図38は実施例2の無限遠物点合焦時の収差図である。

図39は実施例3の無限遠物点合焦時の収差図である。

図40は実施例4の無限遠物点合焦時の収差図である。

図41は実施例5の無限遠物点合焦時の収差図である。

図42は第2の発明の結像光学系の実施例1及び第4の発明の結像光学系の実施例1の結像光学系とその像面に配置されるCCDとを樹脂材で一体成形したレンズ枠に固定する構成例の断面図である。

図43は結像光学系の第3正レンズを小判型の形状にする場合の模式的分解斜視図である。

図44は第3の発明の結像光学系の実施例1の無限遠物点合焦時のレンズ断面図である。

図45は実施例2の結像光学系の図44と同様のレンズ断面図である。

図46は実施例3の結像光学系の図44と同様のレンズ断面図である。

図47は実施例4の結像光学系の図44と同様のレンズ断面図である。

図48は実施例1の無限遠物点合焦時の収差図である。

図49は実施例2の無限遠物点合焦時の収差図である。

図50は実施例3の無限遠物点合焦時の収差図である。

図51は実施例4の無限遠物点合焦時の収差図である。

図52は実施例1の結像光学系とその像面に配置されるCCDとを樹脂材で一体成形したレンズ枠に固定する構成例の断面図である。

図53は結像光学系の第3正レンズを小判型の形状にする場合の模式的分解斜視図である。

図54は第4の発明の結像光学系の実施例1の無限遠物点合焦時のレンズ断面図である。

図55は実施例2の結像光学系の図54と同様のレンズ断面図である。

図56は実施例3の結像光学系の図54と同様のレンズ断面図である。

図57は実施例4の結像光学系の図54と同様のレンズ断面図である。

図58は実施例5の結像光学系の図54と同様のレンズ断面図である。

図59は実施例1の無限遠物点合焦時の収差図である。

図60は実施例2の無限遠物点合焦時の収差図である。

図61は実施例3の無限遠物点合焦時の収差図である。

図62は実施例4の無限遠物点合焦時の収差図である。

図63は実施例5の無限遠物点合焦時の収差図である。

図64は第5の発明の結像光学系の実施例1の無限遠物点合焦時のレンズ断面図である。

図 6 5 は実施例 2 の結像光学系の図 6 4 と同様のレンズ断面図である。

図 6 6 は実施例 3 の結像光学系の図 6 4 と同様のレンズ断面図である。

図 6 7 は実施例 1 の無限遠物点合焦時の収差図である。

図 6 8 は実施例 2 の無限遠物点合焦時の収差図である。

図 6 9 は実施例 3 の無限遠物点合焦時の収差図である。

図 7 0 は実施例 1 の結像光学系とその像面に配置される C C D ユニットとを樹脂材で一体成形したレンズ枠に固定する構成例の断面図である。

図 7 1 は結像光学系の第 3 正レンズを小判型の形状にする場合の模式的分解斜視図である。

図 7 2 は第 5 の発明による結像光学系を組み込んだデジタルカメラの断面図である。

図 7 3 は第 5 の発明による結像光学系を組み込んだパソコンの撮影光学系の断面図である。

図 7 4 は第 5 の発明による結像光学系が対物光学系として組み込まれた携帯電話の正面図、側面図、その撮影光学系の断面図である。

DESCRIPTION OF THE PREFERRED ENBODIMENTS

まず、本発明の第 1 の発明～第 5 の発明において上記のような構成をとった理由と作用を説明する。

第 1 の発明において上記のような構成をとった理由と作用を以下に説明する。

まず、レンズ枚数について説明する。第 1 の発明では、性能と小型化を考慮した結果、レンズ枚数を 3 枚で構成した。レンズ枚数を 4 枚以上にすればさらに性能が向上するのは明らかであるが、1 枚レンズが増えることにより、レンズの厚さ、レンズの間隔、枠のスペースがそれだけ多くなり、大型化するのは避けられない。また、前記の従来の技術の項で述べたように、2 枚以下では像面湾曲が小さくならず、かなり周辺性能は劣化する。3 枚にするのが、性能、大きさ共に最適である。

次に、C C D 等の撮像素子への光線入射角を小さくするために、明るさ絞りを

最も物体側に配置した。射出瞳位置が物体側に遠くなるようにレンズのパワーを構成すればよいが、枚数が少ないので、明るさ絞りの位置を物体側に配置するのが最も効果的である。

ここで、明るさ絞りを最も物体側に配置すると、絞りに対して一方にしかレンズがないので、光学設計には周辺性能であるディストーションと倍率色収差の補正が難しくなってくる。そのため、物体側より順に正レンズ、負レンズ、正レンズと配置することにより、光線高の大きくなる第2、第3レンズで異符号のパワーを配置して補正している。なお、中心性能は、第1正レンズで発生する球面収差、軸上色収差を第2負レンズで補正し、画面全体の高性能化を達成している。

なお、第1正レンズは、前記の発明が解決しようとする課題の項で述べたように、像側に凸のメニスカス形状をしている。これにより、軸外収差を良好に補正でき、高性能を達成できる。

このとき、第2負レンズをメニスカス形状にすると、光学性能上の問題が発生してしまう。まず、一般的にレンズをメニスカス形状にすると、負レンズであっても一方の面は正パワーの収斂効果を出している。よって、このレンズのパワーを強くしていくと、もう一方の面である負パワーの面の曲率が強くなりすぎて、その結果、高次収差が発生し、性能劣化しやすくなってしまう。また、収差を両面で打ち消し合っているので、各面の相対偏心による製造誤差に対して性能劣化が大きくなるという問題もある。これは、全長短縮等を行いレンズのパワーを強くしていくと、その影響が顕著になってくるため、小型化を阻害する要因になってしまふ。

また、小型化には、望遠タイプのように全系の焦点距離に対しその主点を物体側に移動させるのがよいが、第2負レンズを物体側に凸のメニスカス形状にした場合には、第1正メニスカスレンズと共にその主点が像側に移動してしまい、小型化には不利な構成になってしまふ。さらに、球面収差等の収差補正のためには、第1正レンズと第2負レンズとの主点間隔を小さくしてマージナル光線高が大きく変わらないようするのが効果があるので、第1正レンズはより像側に主点を

移動せねばならず、両面の曲率、特に射出側の面の曲率がきつくなつて、性能バランスが取り難くなつてしまふ。

このことから、第1の発明では、第2負レンズを両凹で構成した。これにより、全長短縮しても高次収差の発生が少なくなるので、性能劣化し難くなる。また、メニスカス形状の場合と違つて、各面で負のパワーを分割するようになるので、第2負レンズの各面の相対偏心による性能劣化が軽減される。すなわち、全長を短縮しても、高性能を達成することが可能になる。

また、各々のレンズを単レンズとし、レンズ間に挟まれる2つの空気レンズの両側を形状の異なる屈折面にすると、軸上収差と軸外収差の双方の収差補正のバランスが取りやすくなる。特に、3枚のレンズにて形成される2つの空気レンズが形状の異なる2つの非球面に挟まれる構成とすると、より収差補正が良好に行える。

また、以上において、次の条件式を満足することが望ましい。

$$-0.5 < (r_{2f} + r_{2r}) / (r_{2f} - r_{2r}) < 0.98 \quad \dots \quad (1)$$

ただし、 r_{2f} は第2負レンズの物体側面の光軸上曲率半径、 r_{2r} は第2負レンズの像側面の光軸上曲率半径である。

この条件式(1)の上限の0.98を越えると、物体側の負パワーが弱くなりすぎ、第1正レンズによる収差を良好に補正できなくなり、下限の-0.5を越えると、周辺光束の光線高の高くなる像側の面のパワーが弱くなりすぎて、倍率色収差が悪化してしまう。

なお好ましくは、次の条件式を満たすのがよい。

$$0 < (r_{2f} + r_{2r}) / (r_{2f} - r_{2r}) < 0.95 \quad \dots \quad (1-1)$$

さらに好ましくは、次の条件式を満たすのがよい。

$$0.3 < (r_{2f} + r_{2r}) / (r_{2f} - r_{2r}) < 0.8 \quad \dots \quad (1-2)$$

また、第1正レンズの像側の面が強い正パワーを持つため、次の面である第2負レンズの物体側の面で残存収差を効果的に収差補正するのが望ましい。このとき、次の条件式を満たすのがよい。

$$0.01 < r_{1r} / r_{2f} < 0.75 \quad \dots \quad (2)$$

ただし、 r_{1r} は第1正レンズの像側面の光軸上曲率半径、 r_{2f} は第2負レンズの物体側面の光軸上曲率半径である。

この条件式(2)の上限の0.75を越えると、第2負レンズの物体側の面の負パワーが強くなりすぎ、補正過剰になってしまい、下限の0.01を越えると、負パワーが弱くなりすぎ補正不足になってしまい、共に性能が劣化する。

なお好ましくは、次の条件式を満たすのがよい。

$$0.05 < r_{1r} / r_{2f} < 0.6 \quad \dots (2-1)$$

さらに好ましくは、次の条件式を満たすのがよい。

$$0.1 < r_{1r} / r_{2f} < 0.4 \quad \dots (2-2)$$

また、第2負レンズは第1正レンズと第3正レンズの中間に配置されているので、このパワーを適切に設定しておかないと、両正レンズの収差発生を効果的に補正できなくなってしまう。そのため、次の条件式を満たすのがよい。

$$-0.75 < f_2 / I_h < -0.1 \quad \dots (3)$$

ただし、 f_2 は第2負レンズの焦点距離、 I_h は最大像高である。

この条件式(3)の上限の-0.1を越えると、第2負レンズのパワーが強くなりすぎ、補正過剰になってしまい、下限の-0.75を越えると、パワーが弱くなりすぎ、補正不足になってしまい、共に性能が劣化する。

ここで、撮像装置の最大像高 I_h は、結像光学系の像面側に撮像領域を制限する視野枠を配する場合は、視野枠対角長の半分であり、固体撮像素子等の撮像素子を配する場合は、有効撮像領域の対角長の半分である。

なお好ましくは、次の条件式を満たすのがよい。

$$-0.6 < f_2 / I_h < -0.25 \quad \dots (3-1)$$

また、第2負レンズは発散作用を持つので、像面への入射角度に関して不利な方向に働く。そのため、その次の第3正レンズの構成が重要である。そのため、次の条件式を満たすのがよい。

$$-5.0 < f_{2-3} / f < -0.1 \quad \dots (4)$$

ただし、 f_{2-3} は第2負レンズと第3正レンズの合成焦点距離、 f は全系の焦点距離である。

この条件式(4)の上限の-0.1を越えると、負パワーが強くなりすぎて像面への入射角度がきつくなりすぎ、下限の-5.0を越えると、負パワーが弱くなりすぎて全長が大きくなってしまう。

なお好ましくは、次の条件式を満たすのがよい。

$$-2.0 < f_{2-3} / f < -0.3 \quad \dots (4-1)$$

また、第2、3レンズは明るさ絞りから遠く離れて配置され軸外光線高が高くなるため、倍率色収差やディストーションの発生が大きくなりがちである。そのため、次の条件式を満たすのがよい。

$$-0.8 < f_2 / f_3 < -0.1 \quad \dots (5)$$

ただし、 f_2 は第2負レンズの焦点距離、 f_3 は第3正レンズの焦点距離である。

この条件式(5)の上限の-0.1、下限の-0.8何れも越えると、倍率色収差やディストーションが補正過剰若しくは補正不足になってしまい、共に周辺性能が悪化する。

なお好ましくは、次の条件式を満たすのがよい。

$$-0.5 < f_2 / f_3 < -0.2 \quad \dots (5-1)$$

また、第2負レンズの物体側の面は非球面で構成すると、良好に収差補正することができ、次の条件式を満たすのが望ましい。

$$0.01 < | (r_{2fs} + r_{2fa}) / (r_{2fs} - r_{2fa}) - 1 | < 100 \quad \dots (6)$$

ただし、 r_{2fs} は第2負レンズの物体側面における光軸上の曲率半径、 r_{2fa} は第2負レンズの物体側面の非球面を考慮した曲率半径の中、光学有効範囲内で最も変化したときの値である。

ここで、非球面を考慮した曲率半径 r_{ASP} は、非球面定義式を $f(y)$ としたとき、次の式で定義される。以下、同じ。

$$r_{ASP} = y \cdot (1 + f'(y)^2)^{1/2} / f'(y)$$

ただし、 y は光軸からの高さ、 $f'(y)$ は $f(y)$ の一階微分とする。

この条件式(6)の上限の100を越えると、非球面効果が弱くなりすぎて補

正不足になってしまい、コマ収差、非点収差が悪化してしまい、下限の 0. 01 を越えると、非球面効果が強くなりすぎて補正過剰になり、性能が劣化すると共に、レンズの加工が難しくなってしまう。

なお好ましくは、次の条件式を満たすのがよい。

$$0.05 < |(r_{2fs} + r_{2fa}) / (r_{2fs} - r_{2fa}) - 1| < 5.0 \quad \dots (6-1)$$

さらに好ましくは、次の条件式を満たすのがよい。

$$0.1 < |(r_{2fs} + r_{2fa}) / (r_{2fs} - r_{2fa}) - 1| < 3.0 \quad \dots (6-2)$$

また、第2負レンズの像側の面は非球面で構成すると、良好に収差補正することができ、次の条件式を満たすのが望ましい。

$$0.01 < |(r_{2rs} + r_{2ra}) / (r_{2rs} - r_{2ra}) - 1| < 100 \quad \dots (7)$$

ただし、 r_{2rs} は第2負レンズの像側面における光軸上の曲率半径、 r_{2ra} は第2負レンズの像側面の非球面を考慮した曲率半径の中、光学有効範囲内で最も変化したときの値である。

この条件式 (7) の上限の 100 を越えると、非球面効果が弱くなりすぎて補正不足になってしまい、コマ収差、非点収差が悪化してしまい、下限の 0.01 を越えると、非球面効果が強くなりすぎて補正過剰になり、性能が劣化すると共に、レンズの加工が難しくなってしまう。

なお好ましくは、次の条件式を満たすのがよい。

$$0.05 < |(r_{2rs} + r_{2ra}) / (r_{2rs} - r_{2ra}) - 1| < 10.0 \quad \dots (7-1)$$

さらに好ましくは、次の条件式を満たすのがよい。

$$0.1 < |(r_{2rs} + r_{2ra}) / (r_{2rs} - r_{2ra}) - 1| < 5.0 \quad \dots (7-2)$$

また、撮像素子に C C D を用いる場合、結像光学系から射出された軸外光束が像面に対してあまりに大きな角度で入射すると、画像中央部と画像周辺部で画像

の明るさが変化してしまう。一方、像面に対して小さい角度で入射させるとこの問題は軽減されるが、今度は光学系の全長が大きくなってしまう。そのため、次の条件式を満たすのがよい。

$$10^\circ < \alpha < 40^\circ \quad \dots (8)$$

ただし、 α は最大像高における主光線の像面への入射角度である。

この条件式(8)の上限の 40° を越えると、CCDへの入射角が大きくなりすぎ、画像周辺部の明るさが低下してしまい、下限の 10° を越えると、全長が大きくなりすぎてしまう。

なお好ましくは、次の条件式を満たすのがよい。

$$15^\circ < \alpha < 35^\circ \quad \dots (8-1)$$

さらに好ましくは、次の条件式を満たすのがよい。

$$17.5^\circ < \alpha < 25^\circ \quad \dots (8-2)$$

また、第1正レンズは明るさ絞りに最も近いため、画面中心から周辺までの全ての光線が集まって略同じようなポイントを通過する。そのため、第1正レンズを適切に設定しないと、画面全体の性能に関わってしまう。よって、次の条件式を満たすのがよい。

$$0.1 < f_1 / f < 1.2 \quad \dots (9)$$

ただし、 f_1 は第1正レンズの焦点距離、 f は全系の焦点距離である。

この条件式(9)の上限の 1.2 を越えると、正レンズのパワーが弱くなりすぎて全長が大きくなってしまい、下限の 0.1 を越えると、正レンズのパワーが強くなりすぎて、球面収差、コマ収差等が発生して画面全体の性能が劣化してしまう。

なお好ましくは、次の条件式を満たすのがよい。

$$0.2 < f_1 / f < 0.7 \quad \dots (9-1)$$

さらに好ましくは、次の条件式を満たすのがよい。

$$0.25 < f_1 / f < 0.5 \quad \dots (9-2)$$

また、第1の発明の別の撮像装置において、フロント絞りの構成にて、結像光学系を正、負、正の順の3枚の単レンズにて構成し、第1正レンズの焦点距離を

小さくして、このレンズに主たる正屈折力を担わせることで全体として正、負の順のテレフォトタイプにして主点を物体寄りにすることで、全長を短縮することが可能となる。

このとき、第1正レンズの像側面の曲率半径を強くすることで、第1正レンズの適度な屈折力を保ちつつ、明るさ絞りから入射する軸外光束の屈折角を緩やかにして軸外収差の補正を行うことができる。

また、第3正レンズは、撮像素子に入射する光束を垂直に近づける作用を持たせているが、第2負レンズの像側の面に強い屈折力を持たせることにより、第2、第3レンズ共同で倍率色収差、軸外収差の発生を抑えている。

この構成において、次の条件式を満足することが望ましい。

$$0.30 < f_1 / I_h < 0.90 \quad \dots \quad (10)$$

$$-0.75 < f_2 / I_h < -0.1 \quad \dots \quad (3)$$

$$0.70 < f_3 / I_h < 2.00 \quad \dots \quad (11)$$

ただし、 f_1 は第1正レンズの焦点距離、 f_2 は第2負レンズの焦点距離、 f_3 は第3正レンズの焦点距離、 I_h は最大像高である。

あるいは、次の条件式を満足することが望ましい。

$$0.1 < f_1 / f < 0.46 \quad \dots \quad (9-3)$$

$$-0.75 < f_2 / f < -0.29 \quad \dots \quad (12)$$

$$0.40 < f_3 / f < 0.85 \quad \dots \quad (13)$$

ただし、 f_1 は第1正レンズの焦点距離、 f_2 は第2負レンズの焦点距離、 f_3 は第3正レンズの焦点距離、 f は全系の焦点距離である。

条件式(10)、(3)、(11)は、それぞれのレンズの焦点距離を最大像高 I_h で規定したものである。

条件式(10)は、像面のサイズを基準に、主たる屈折力を担う第1正レンズの屈折力を、収差バランスと取りつつ、全長の短縮化ができるよう設定したものであり、条件式(3)、(11)は、その上での収差補正を行うための第2負レンズ、第3正レンズの屈折力を、条件式(10)と同じく最大像高を基準にして定めた条件である。

これらの条件式を同時に満足することで、全長の短縮化、広画角化、収差補正をバランスさせている。

条件式(10)において、下限値の0.30を越えると、第1正レンズで発生する収差の補正が難しくなり、一方、上限値の0.90を越えると、全体をテレフォトタイプにして全長を短縮する効果が薄くなる。

さらに、条件式(10)の下限値を0.35、又は、0.40とすると、収差補正上好ましく、また、上限値を0.75、又は、0.70とすると、全長の短縮化のためにより好ましい。

条件式(3)において、上下限の-0.75、-0.1を越えると、収差補正が難しくなる。

また、条件式(11)において、下限値の0.70を越えると、第3正レンズの屈折力が強くなり、第3正レンズの光軸上の厚さが大きくなつて薄型化が難しくなるか、収差補正が難しくなり、一方、上限値の2.00を越えると、最軸外光束を像面に対して垂直に近づける作用が弱くなる。

条件式(11)において、さらに下限値を0.80、又は、0.90とすると、収差補正しやすく、また、上限値を1.80、又は、1.60とすると、軸外主光線を垂直に近づけることができ好ましい。

また、条件式(9-3)、(12)、(13)は、それぞれのレンズの焦点距離を全系の焦点距離で規定したものである。

条件式(9-3)は、結像光学系の主たる屈折力を第1正レンズに負担させること意味し、条件式(12)、(13)は、その上での収差補正を行うための第2負レンズ、第3正レンズの屈折力を定めた条件である。

これらの条件式を同時に満足することで、全長の短縮化、広画角化、収差補正をバランスさせている。

条件式(9-3)において、下限値の0.1を越えると、第1正レンズで発生する収差の補正が難しくなり、一方、上限値の0.46を越えると、全体をテレフォトタイプにして全長を短縮する効果が薄くなる。

さらに、条件式(9-3)の下限値を0.2、又は、0.25とすると、収差

補正上好ましく、また、上限値を 0.44、又は、0.43 とすると、全長の短縮化のためにより好ましい。

条件式(12)において、上下限の -0.75、-0.29 を越えると、収差補正が難しくなる。

条件式(12)において、さらに下限値を -0.6、又は、-0.37、又は、さらに上限値を -0.3、又は、-0.31 とすると、収差補正が行いやすくなる。

条件式(13)において、下限値の 0.40 を越えると、第3正レンズの屈折力が強くなり、第3正レンズの光軸上の厚さが大きくなつて薄型化が難しくなるか、収差補正が難しくなり、一方、上限値の 0.85 を越えると、最軸外光束を像面に対して垂直に近づける作用が弱くなる。

条件式(13)において、さらに下限値を 0.60、又は、0.70 とすると、収差補正が行いやすく、また、上限値を 0.84、又は、0.83 とすると、軸外主光線を垂直に近づけることができ好ましい。

これらの条件式(10)、(3)、(11)、及び、(9-3)、(12)、(13)を同時に満足してもよい。また、前記した条件式(1)～(9-2)の单数あるいは複数の条件式とを同時に満足するようにしてもよい。

なお、以上の各条件式に共通して、各条件式範囲をより限定した下位の条件式の上限値のみ、又は、下限値のみをその上位の条件式の上限値あるいは下限値として限定するようにしてもよい。

また、以上の条件式は、任意に複数を組み合わせることで、より第1の発明の効果を高めることができる。

次に、第2の発明において上記のような構成をとった理由と作用を以下に説明する。

まず、レンズ枚数について説明する。第2の発明では、性能と小型化を考慮した結果、レンズ枚数を3枚で構成した。レンズ枚数を4枚以上にすればさらに性能が向上するのは明らかであるが、1枚レンズが増えることにより、レンズの厚

さ、レンズの間隔、枠のスペースがそれだけ多くなり、大型化するのは避けられない。また、上記の従来の技術の項で述べたように、2枚以下では像面湾曲が小さくならずかなり周辺性能は劣化する。3枚で構成するのが性能、大きさ共に最適である。

次に、撮像素子であるCCDへの光線入射角を小さくするために、明るさ絞りを最も物体側に配置した。射出瞳位置を物体側に遠くなるようにレンズのパワーを構成すればよいが、枚数が少ないので明るさ絞りの位置を物体側に配置するのが最も効果的である。

ここで、明るさ絞りを最も物体側に配置すると、絞りに対して一方にしかレンズがないので、光学設計には周辺性能であるディストーションと倍率色収差の補正が難しくなってくる。そのため、物体側より、正レンズ、負レンズ、正レンズと配置することにより、光線高の大きくなる第2レンズ、第3レンズに異符号のパワーを配置して補正している。なお、中心性能は、第1正レンズで発生する球面収差、軸上色収差を第2負レンズで補正し、画面全体の高性能化を達成している。

このようにすれば、基本的には全長が小さく、さらに像面への光線入射角も小さくすることが可能になるが、レンズ枚数が少ないので、焦点距離や画角を十分に考慮して、個々の面間隔、肉厚、バックフォーカスを適切に設定しなければ、小型化することができない。よって、次の条件式を満たす必要がある。

$$1.5 < d / (f \cdot \tan \theta) < 3.0 \quad \dots \quad (21)$$

ただし、dは結像光学系の明るさ絞り面から像面までの光軸に沿って測った距離、 θ は結像光学系の最大入射角、fは全系の焦点距離である。

この条件式(21)の上限の3.0を越えると、全長が大きくなりすぎ小型化を達成できなくなり、下限の1.5を越えると、各レンズのパワーが強くなりすぎて性能が劣化したり、肉厚、面間隔が狭くなりすぎ、加工、組み立てがし難くなったりする。

なお好ましくは、次の条件式を満たすのがよい。

$$1.8 < d / (f \cdot \tan \theta) < 2.8 \quad \dots \quad (21-1)$$

次に、結像光学系の小型化と高性能化をより効果的に達成するためのパワー構成について説明する。一般的に、焦点距離に対して全長を短くするには、望遠タイプの正、負の順にパワーを配置することが考えられる。しかしながら、負は発散作用を持つため、そのままの構成では像面へ入射する角度がきつくなる傾向がある。一方、広角の光学系を構成する場合、最も物体側に負の発散作用を持つ群を配置するのが光学性能的に有利であることは知られている。

そこで、第2の発明では、まず、全長を短縮するため基本的なパワー構成を正、負にし、負のパワーを、物体側から順に、負レンズ、正レンズの構成とする。これにより、望遠タイプを形成しつつも、最も像面側に配置される正レンズの収束作用により像面への入射角度を緩くできるようになる。また、広角の光学系を構成しても性能劣化しないように、第1正レンズの入射面を凹面にして発散作用を持たせ、正パワーのメニスカス形状にする。これにより、広角化したときに発生しやすい軸外光線のコマ収差、非点収差の補正が十分できるようになる。

このとき、全長短縮効果と像面への入射角度のバランスを取るためにには、第2負レンズ、第3正レンズによる負のパワーを適切に設定しなければならない。よって、次の条件式を満たす必要がある。

$$-5.0 < f_{2-3} / f < -0.5 \quad \dots (22)$$

ただし、 f_{2-3} は第2負レンズと第3正レンズの合成焦点距離、 f は全系の焦点距離である。

この条件式(22)の上限の-0.5を越えると、望遠効果が強くなりすぎて像面への入射角度がきつくなりすぎ、下限の-5.0を越えると、望遠効果が弱くなりすぎて全長が大きくなってしまう。

なお好ましくは、次の条件式を満たすのがよい。

$$-3.5 < f_{2-3} / f < -0.8 \quad \dots (22-1)$$

さらに好ましくは、次の条件式を満たすのがよい。

$$-2.0 < f_{2-3} / f < -0.9 \quad \dots (22-2)$$

また、望遠タイプを形成するためには、2つある正レンズの中の第1正レンズの方に強い正パワーを持たせるのがよい。そのため、次の条件式を満たすのがよ

い。

$$0.1 < f_1 / f_3 < 0.7 \quad \dots \quad (23)$$

ただし、 f_1 は第 1 正レンズの焦点距離、 f_3 は第 3 正レンズの焦点距離である。

この条件式 (23) の上限の 0.7 を越えると、望遠効果が小さくなり全長が大きくなるか、第 2 負レンズ、第 3 正レンズのパワーが強くなりすぎてコマ収差、非点収差が悪化する。また、下限の 0.1 を越えると、望遠効果が強くなりすぎて第 1 正レンズでの収差発生量が大きくなるか、第 3 正レンズのパワーが弱くなりすぎ、第 2 負レンズで発生する倍率色収差、ディストーションを補正できなくなる。

なお好ましくは、次の条件式を満たすのがよい。

$$0.2 < f_1 / f_3 < 0.58 \quad \dots \quad (23-1)$$

また、負の合成パワーの第 2 負レンズ、第 3 正レンズの構成により、望遠効果の影響度が変わってくる。また、第 2 負レンズ、第 3 正レンズは明るさ絞りから遠く離れて配置され軸外光線高が高くなるため、倍率色収差やディストーションの発生は大きくなりがちである。そのため、次の条件式を満たすのがよい。

$$-0.6 < f_2 / f_3 < -0.1 \quad \dots \quad (24)$$

ただし、 f_2 は第 2 負レンズの焦点距離、 f_3 は第 3 正レンズの焦点距離である。

この条件式 (24) の上限の -0.1 を越えると、第 2 負レンズのパワーが弱くなるか、第 3 正レンズのパワーが強くなりすぎて、共に望遠効果が小さくなつて全長が大きくなる。下限の -0.6 を越えると、第 2 負レンズのパワーが強くなるか、第 3 正レンズのパワーが弱くなり、倍率色収差やディストーションのバランスが取れなくなり性能が悪化する。

なお好ましくは、次の条件式を満たすのがよい。

$$-0.5 < f_2 / f_3 < -0.15 \quad \dots \quad (24-1)$$

また、高屈折率のガラスを用いれば性能が向上するが、コストが高くなってしまう。そのため、次の条件式を満たすのがよい。

$$1.45 < n_{avg} < 1.70 \quad \dots \quad (25)$$

ただし、 n_{avg} は第1正レンズ～第3正レンズの d 線の屈折率の平均値である。

この条件式(25)の上限の 1.70 を越えると、低コストを達成できなくなり、下限の 1.45 を越えると、各レンズの収差発生量が大きくなりすぎ性能劣化してしまう。

なお好ましくは、次の条件式を満たすのがよい。

$$1.5 < n_{avg} < 1.65 \quad \dots \quad (25-1)$$

また、第1正レンズは最も絞りに近いため、中心から周辺の光束は略レンズの同じ領域を通過している。すなわち、この面の収差発生を適切に補正しておかないと、第2負レンズ、第3正レンズで補正し切れなくなる場合があり、全画面の性能が、特にコマ収差や非点収差が劣化してしまう。そのため、次の条件式を満たすのが好ましい。

$$1.0 < (r_{1f} + r_{1r}) / (r_{1f} - r_{1r}) < 1.7 \quad \dots \quad (26)$$

ただし、 r_{1f} は第1正レンズの物体側近軸曲率半径、 r_{1r} は第1正レンズの像側近軸曲率半径である。

この条件式(26)の上限の 1.7 を越えると、相対的に第1正レンズの像側の面のパワーが強くなりすぎて、特に球面収差、コマ収差が悪化してしまい、下限の 1.0 を越えると、相対的に第1正レンズの物体側の面のパワーが弱くなりすぎて、軸外収差、特に非点収差、コマ収差が悪化してしまう。

なお好ましくは、次の条件式を満たすのがよい。

$$1.1 < (r_{1f} + r_{1r}) / (r_{1f} - r_{1r}) < 1.6 \quad \dots \quad (26-1)$$

また、全長を小さくするために望遠効果を出すには、第1正レンズでは強い正パワーが必要になる。そのため、第1正レンズの中の少なくとも1面を非球面で構成すると、良好に収差補正することができる。よって、次の条件式を満たすのが望ましい。

$$0.01 < | (r_{1s} + r_{1a}) / (r_{1s} - r_{1a}) - 1 | < 1.00 \quad \dots \quad (27)$$

ただし、 r_{1s} は第1正レンズの非球面の近軸曲率半径、 r_{1a} は第1正レンズの以下に定義した非球面を考慮した曲率半径 r_{ASP} の中の光学有効範囲内で近軸曲率半径との差が最も変化したときの値である。

ここで、非球面を考慮した曲率半径 r_{ASP} は、非球面定義式（面頂に接する接平面から光軸進行方向を正としたときの形状の関数）を $f(y)$ としたとき、次の式で定義される。以下、同じ。

$$r_{ASP} = y \cdot (1 + f'(y)^2)^{1/2} / f'(y)$$

ただし、 y は光軸からの高さ、 $f'(y)$ は $f(y)$ の一階微分とする。

この条件式(27)の上限の100を越えると、非球面効果が弱くなりすぎて補正不足になってしまい、コマ収差、非点収差が悪化してしまい、下限の0.01を越えると、非球面効果が強くなりすぎて補正過剰になり、性能が劣化すると共にレンズの加工が難しくなってしまう。

なお好ましくは、次の条件式を満たすのがよい。

$$0.05 < |(r_{1s} + r_{1a}) / (r_{1s} - r_{1a}) - 1| < 10 \quad \dots (27-1)$$

さらに好ましくは、次の条件式を満たすのがよい。

$$0.1 < |(r_{1s} + r_{1a}) / (r_{1s} - r_{1a}) - 1| < 5 \quad \dots (27-2)$$

さらに好ましくは、次の条件式を満たすのがよい。

$$0.1 < |(r_{1s} + r_{1a}) / (r_{1s} - r_{1a}) - 1| < 3 \quad \dots (27-3)$$

また、全長を小さくするために望遠効果を出すには、第2負レンズは強い負パワーが必要になる。第2負レンズの中の少なくとも1面を非球面で構成すると、良好に収差補正することができ、次の条件式を満たすのが望ましい。

$$0.01 < |(r_{2s} + r_{2a}) / (r_{2s} - r_{2a}) - 1| < 100 \quad \dots (28)$$

ただし、 r_{2s} は第2負レンズの非球面の近軸曲率半径、 r_{2a} は第2負レンズの上記で定義した非球面を考慮した曲率半径 r_{ASP} の中の光学有効範囲内で近軸曲率半径との差が最も変化したときの値である。

半径との差が最も変化したときの値である。

この条件式(28)の上限の100を越えると、非球面効果が弱くなりすぎて補正不足になってしまい、コマ収差、非点収差が悪化してしまい、下限の0.01を越えると、非球面効果が強くなりすぎて補正過剰になり、性能が劣化すると共に、レンズの加工が難しくなってしまう。

なお好ましくは、次の条件式を満たすのがよい。

$$0.1 < |(r_{zs} + r_{za}) / (r_{zs} - r_{za}) - 1| < 5 \quad \dots (28-1)$$

また、撮像素子にCCDを用いる場合、結像光学系から射出された軸外光束が像面に対して余りに大きな角度で入射すると、画像中央部と画像周辺部で画像の明るさが変化してしまう。一方、像面に対して小さい角度で入射させるとこの問題は軽減されるが、今度は光学系の全長が大きくなってしまう。そのため、次の条件式を満たすのがよい。

$$10^\circ < \alpha < 40^\circ \quad \dots (29)$$

ただし、 α は最大像高における主光線の像面への入射角度である。

この条件式の上限の40°を越えると、CCDへの入射角が大きくなりすぎ画像周辺部の明るさが低下してしまい、下限の10を越えると、全長が大きくなりすぎてしまう。

なお好ましくは、次の条件式を満たすのがよい。

$$15^\circ < \alpha < 35^\circ \quad \dots (29-1)$$

さらに好ましくは、次の条件式を満たすのがよい。

$$17.5^\circ < \alpha < 25^\circ \quad \dots (29-2)$$

第2の発明は、以上の第2の発明の結像光学系と、その像側に配された撮像素子とを有する撮像装置を含むものである。

また、第2の発明の第1の撮像装置は、物体側から、明るさ絞り、像側に凸面を向けた第1正レンズ、像側に凹面を向けた第2負レンズ、第3正レンズの順に配置された結像光学系、及び、その像側に配された撮像素子を有し、前記明るさ絞りは、光軸が通過する開口形状が固定されており、かつ、開口部の外周面を像

面側程光軸に近づくように、最軸外光束の入射角以上の傾斜角で傾斜させたことを特徴とするものである。

この構成の作用を説明すると、明るさ絞り周辺面での反射光が結像光学系の内部に入射すると、ゴースト、フレアといった現象が起こりやすくなる。特に、本願発明のように、物体側から、明るさ絞り、第1正レンズ、第2負レンズ、第3正レンズの順に配置された小型の結像光学系では、撮像素子の撮像面も小さくなるため、相対的に明るさ絞りの外周面での反射光の影響が大きくなる。

そこで、第2の発明では、最も物体側に明るさ絞りが配されることを利用して、明るさ絞りの開口部の外周面を像面側程光軸に近づくように、最軸外光束の入射角以上の傾斜角で傾斜させた固定形状としている。

このような構成により、開口部の外周面で反射した光束が撮像素子に入射し難くなり、フレア、ゴーストの影響を低減することが可能になる。

また、第2の発明の第2の撮像装置は、物体側から、明るさ絞り、像側に凸面を向けた第1正レンズ、像側に凹面を向けた第2負レンズ、第3正レンズの順に配置された結像光学系、及び、その像側に配された撮像素子を有し、前記結像光学系と前記撮像素子を保持しつつ前記明るさ絞りを同一樹脂材で一体成形したレンズ枠を備えたことを特徴とするものである。

この構成の作用を説明すると、第2の発明の光学系は、明るさ絞りが最も物体側に位置する構成であるため、この絞り以降の各々のレンズは像側に配されるレンズ程有効面が大きくなる。したがって、これらのレンズを保持するレンズ枠を形成が容易な同一樹脂で一体成形することで、枠の像面側からレンズを挿入することでレンズの位置決めができるので、製造が容易となる。

その際に、レンズ枠に明るさ絞りの構成を一体化させることで、製造工程を大幅に削減し、かつ、このレンズ枠自体に撮像素子の保持機能を備えさせることで、枠内へごみが進入しやすい構成とすることが可能となる。

また、第2の発明の第3の撮像装置は、物体側から、明るさ絞り、像側に凸面を向けた第1正レンズ、像側に凹面を向けた第2負レンズ、第3正レンズの順に配置された結像光学系、及び、その像側に配された撮像素子を有し、前記結像光

学系を保持するレンズ枠を備え、少なくとも前記第1正レンズ、第3正レンズの各々の外周に、物体側程光軸に近づくよう傾斜させた傾斜部を設け、前記レンズ枠に前記傾斜部が当接していることを特徴とするものである。

この構成の作用を説明すると、第2の発明の光学系は、明るさ絞りが最も物体側に位置する構成であるため、この絞り以降の各々のレンズは像側に配されるレンズ程有効面が大きくなる。特に第1正レンズと第3正レンズで顕著となる。したがって、上述の構成とすることで軸外光束に沿ったレンズ外形となり、ケラレを抑えつつ小型化し、枠の像面側からレンズを挿入することでレンズの位置決めができるので、製造が容易となる。

さらには、全レンズの外周に物体側程光軸に近づくよう傾斜させた傾斜部を設け、上記レンズ枠にその傾斜部が当接するようにしてもよい。

また、第2の発明の第4の撮像装置は、物体側から、明るさ絞り、像側に凸面を向けた第1正レンズ、像側に凹面を向けた第2負レンズ、第3正レンズの順に配置された結像光学系、及び、その像側に配された撮像素子を有し、前記結像光学系を保持するレンズ枠を備え、前記第1正レンズの形状が入射側から見たときに円形であり、前記第3正レンズの形状が、入射側から見たときに撮像素子の有効撮像領域の短辺方向に対応する方向の長さが有効撮像領域の長辺方向に対応する長さよりも短いことを特徴とするものである。

この構成の作用を説明すると、第2の発明の光学系は、明るさ絞りが最も物体側に位置する構成であるため、この絞り以降の各々のレンズは像側に配されるレンズ程有効面が大きくなる。また、有効光束は、像面側程撮像素子の有効撮像領域の形状に近づいてくる。したがって、上述の構成とすることで、有効光束に沿ったレンズ外形となり、ケラレを抑えつつ小型化ができる。

なお、以上の各条件式に共通して、各条件式範囲をより限定した下位の条件式の上限値のみ、又は、下限値のみをその上位の条件式の上限値あるいは下限値として限定するようにしてもよい。

また、以上の条件式は、任意に複数を組み合わせることで、より第2の発明の効果を高めることができる。

次に、以下に、第3の発明において、上記のような構成をとる理由と作用を説明する。

まず、レンズ枚数について説明する。第3の発明では、性能と小型化を考慮した結果、レンズ枚数を3枚で構成した。レンズ枚数を4枚以上にすればさらに性能が向上するのは明らかであるが、1枚レンズが増えることにより、レンズの厚さ、レンズの間隔、枠のスペースがそれだけ多くなり、大型化するのは避けられない。また、上記の従来の技術の項で述べたように、2枚以下では像面湾曲が小さくならずかなり周辺性能は劣化する。3枚で構成するのが性能、大きさ共に最適である。

次に、撮像素子であるCCDへの光線入射角を小さくするために、明るさ絞りを最も物体側に配置した。射出瞳位置を物体側に遠くなるようにレンズのパワーを構成すればよいが、枚数が少ないので明るさ絞りの位置を物体側に配置するのが最も効果的である。

ここで、明るさ絞りを最も物体側に配置すると、絞りに対して一方にしかレンズがないので、光学設計には周辺性能であるディストーションと倍率色収差の補正が難しくなってくる。そのため、物体側より、正レンズ、負レンズ、正レンズと配置することにより、光線高の大きくなる第2レンズ、第3レンズに異符号のパワーを配置して補正している。なお、中心性能は、第1正レンズで発生する球面収差、軸上色収差を第2負レンズで補正し、画面全体の高性能化を達成している。

第3の発明の目的である高性能化と小型化を達成するためには、次に説明するように第1レンズの構成が重要である。

まず、高性能化のために、第1正レンズは像側に凸のメニスカス形状にする。これにより、きつい角度で入射する周辺光束を入射面の発散作用で緩い角度で射出させられるので、周辺性能であるコマ収差や像面湾曲を効果的に補正できる構成になる。ただし、第1正レンズは入射面が発散作用を持つので、射出面は強い収斂作用が必要になってくる。そのため、そのパワーを適切に設定しないと収差

を良好に補正できない。

一方、小型化のためには、焦点距離に対して主点を物体側に移動させる必要がある。第3の発明の結像光学系では実像を結ぶため、全系の焦点距離は正になる。そのため、2つの正レンズは収差補正の他に結像作用を担っている。この中、主点を物体側に移動させるには、第1正レンズの方に強い結像作用を持たせるのが効果的である。よって、第1正レンズの焦点距離が重要になってくる。すなわち、第1正レンズは次の条件式を満たす必要がある。

$$0.1 < f_1 / f < 0.55 \quad \dots \quad (31)$$

ただし、 f_1 は第1正レンズの焦点距離、 f は全系の焦点距離である。

この条件式の上限の 0.55 を越えると、正のパワーが弱くなりすぎて小型化が困難になり、下限の 0.1 を越えると、正のパワーが強くなりすぎて高性能を満たせなくなってしまう。

なお好ましくは、次の条件式を満たすのがよい。

$$0.2 < f_1 / f < 0.5 \quad \dots \quad (31-1)$$

同様に、第3の発明の目的である高性能化と小型化を達成するためには、第1正メニスカスレンズにおける形状も重要である。

メニスカスレンズを構成する場合、レンズ面が凸面と凹面からなるため、各面の光学的作用は正パワーと負パワーになる。そのため、レンズに強いパワーを持たせると両面がパワーを打ち消しあっててしまうため、一方の面には強いパワーの面が必要になる。第3の発明の第1正レンズの入射面に発散作用を持たせると、周辺性能に効果的ではあるが、その作用を強く出しすぎると、射出面のパワーが強くなりすぎてそこでの収差発生量が増えてしまい、性能が劣化したり、レンズ偏心等の製造誤差に対して弱くなってしまう。

一方、像側に凸の正メニスカスレンズを構成すると、主点位置は像側に移動する。全長短縮のためには主点を物体側に移動するのが効果的であるので、双方の曲率半径を小さくしてメニスカスの効果を出しすぎると、小型化に反してしまう。よって、第1正メニスカスレンズは次の条件式を満たすのがよい。

$$1.0 < (r_{1f} + r_{1r}) / (r_{1f} - r_{1r}) < 1.7 \quad \dots \quad (32)$$

ただし、 r_{1f} は第1正レンズの物体側面の光軸上曲率半径、 r_{1r} は第1正レンズの像側面の光軸上曲率半径である。

この条件式の上限の1.7を越えると、射出面の曲率半径が小さくなつて性能が劣化するか全長が大きくなつてしまい、下限の1.0を越えると、入射面の曲率半径が大きくなつて画面周辺の性能が劣化してしまう。

なお好ましくは、次の条件式を満たすのがよい。

$$1.1 < (r_{1f} + r_{1r}) / (r_{1f} - r_{1r}) < 1.5 \quad \dots \quad (32-1)$$

また、小型化を達成するためには、2つある正レンズの中の第1正レンズの方に強い正パワーを持たせるのがよい。そのため、次の条件式を満たすのがよい。

$$0.1 < f_1 / f_3 < 0.8 \quad \dots \quad (33)$$

ただし、 f_1 は第1レンズの焦点距離、 f_3 は第3レンズの焦点距離である。

この条件式の上限の0.8を越えると、主点が像側に移動して全長が大きくなつてしまい、下限の0.1を越えると、第1正レンズのパワーが強くなつて収差発生量が大きくなり、また、第3正レンズのパワーが弱くなつて収差補正効果が小さくなつてしまい、何れも性能が劣化してしまう。

なお好ましくは、次の条件式を満たすのがよい。

$$0.15 < f_1 / f_3 < 0.7 \quad \dots \quad (33-1)$$

さらに好ましくは、次の条件式を満たすのがよい。

$$0.2 < f_1 / f_3 < 0.58 \quad \dots \quad (33-2)$$

また、高性能化と小型化を達成するためには、第2負レンズの構成も重要になる。そのため、第1正レンズと第2負レンズの関係を表す次の条件式を満たすのがよい。

$$1.0 < f_{1-2} / f < 4.0 \quad \dots \quad (34)$$

ただし、 f_{1-2} は第1レンズ、第2レンズの合成焦点距離、 f は全系の焦点距離である。

この条件式の上限の4.0を越えると、光学系の主点が像側に移動して全長が大きくなつてしまい、下限の1.0を越えると、第1正レンズに対して第2負レ

ンズのパワーが弱くなりすぎて、第1正レンズの残存収差が補正し切れなくて性能が劣化してしまう。

なお好ましくは、次の条件式を満たすのがよい。

$$1.5 < f_{1-2} / f < 2.7 \quad \dots \quad (34-1)$$

また、第2負レンズには、第1正レンズで残存する収差を補正する役割がある。そのため、このパワーを適切に設定しておかないと、効果的な収差補正ができないくなってしまう。そのため、次の条件式を満たすのがよい。

$$-0.75 < f_2 / I_h < -0.1 \quad \dots \quad (35)$$

ただし、 f_2 は第2負レンズの焦点距離、 I_h は最大像高である。

この条件式の上限の -0.1 を越えると、第2負レンズのパワーが強くなりすぎ補正過剰になってしまい、下限の -0.75 を越えると、パワーが弱くなりすぎ補正不足になってしまい、共に性能が劣化する。

なお好ましくは、次の条件式を満たすのがよい。

$$-0.65 < f_2 / I_h < -0.25 \quad \dots \quad (35-1)$$

また、正パワーの面で発生する収差を負パワーの面で補正しなければ高性能は満たせない。また、小型化のためには、収差を補正しながらも、そのパワーを適切に配分する必要もある。よって、第1レンズの物体側の負パワーと第2レンズの像側の負パワーは、次の条件式を満たすのがよい。

$$-0.25 < r_{2r} / r_{1f} < -0.01 \quad \dots \quad (36)$$

ただし、 r_{2r} は第2負レンズの像側面の光軸上曲率半径、 r_{1f} は第1正レンズの物体側面の光軸上曲率半径である。

この条件式の上限の -0.01 を越えると、第1レンズの入射面の方がパワーが強くなって全系の主点が像側に移動してしまうので、小型化に不利な構成になってしまい、下限の -0.25 を越えると、第1レンズの入射面のパワーが弱くなり軸外収差の補正が不十分になるか、第2レンズの射出面のパワーが強くなってしまって、第1レンズでの残存収差、特に球面収差、コマ収差の補正が過剰になってしまふ。

なお好ましくは、次の条件式を満たすのがよい。

$$-0.20 < r_{2r} / r_{1r} < -0.02 \quad \dots (36-1)$$

また、第1正レンズの入射面は最も絞りに近いため、中心光束や周辺光束のあらゆる角度の光線が集まっている。すなわち、この面の収差発生を適切に補正しないと全画面の性能が劣化してしまう。そのため、第1正レンズの入射面を非球面で構成するのが望ましい。そのとき、次の条件式を満たすのがよい。

$$0.01 < |(r_{1fs} + r_{1fa}) / (r_{1fs} - r_{1fa}) - 1| < 100 \quad \dots (37)$$

ただし、 r_{1fs} は第1正レンズの物体側面の光軸上曲率半径、 r_{1fa} は第1正レンズの物体側面の非球面を考慮した曲率半径 r_{ASP} の中の光学有効範囲内で光軸上曲率半径との差が最も変化したときの値である。

ここで、非球面を考慮した曲率半径 r_{ASP} は、非球面定義式（面頂に接する接平面から光軸進行方向を正としたときの形状の関数）を $f(y)$ としたとき、次の式で定義される。以下、同じ。

$$r_{ASP} = y \cdot (1 + f'(y)^2)^{1/2} / f'(y)$$

ただし、 y は光軸からの高さ、 $f'(y)$ は $f(y)$ の一階微分とする。

この条件式の上限の 100 を越えると、非球面効果が薄くなり全画面の性能が劣化してしまい、下限の 0.01 を越えると、非球面量が大きくなりすぎ加工性が悪くなってしまう。

なお好ましくは、次の条件式を満たすのがよい。

$$0.02 < |(r_{1fs} + r_{1fa}) / (r_{1fs} - r_{1fa}) - 1| < 10 \quad \dots (37-1)$$

さらに好ましくは、次の条件式を満たすのがよい。

$$0.05 < |(r_{1fs} + r_{1fa}) / (r_{1fs} - r_{1fa}) - 1| < 3 \quad \dots (37-2)$$

また、第1正レンズの射出面は、メニスカスレンズの正パワーを維持するため強い曲率を持っている。そのため、この面の収差発生が大きくなりやすい。そのため、第1正レンズの射出面を非球面で構成するのが望ましい。そのとき、次の条件式を満たすのがよい。

$$0.01 < |(r_{irs} + r_{ira}) / (r_{irs} - r_{ira}) - 1| < 100 \quad \dots (38)$$

ただし、 r_{irs} は第1正レンズの像側面の光軸上曲率半径、 r_{ira} は第1正レンズの像側面の非球面を考慮した曲率半径の中の光学有効範囲内で光軸上曲率半径との差が最も変化したときの値である。

この条件式の上限の 100 を越えると、非球面効果が薄くなつて性能が劣化してしまい、下限の 0.01 を越えると、非球面量が大きくなりすぎ加工性が悪くなつてしまふ。

なお好ましくは、次の条件式を満たすのがよい。

$$0.02 < |(r_{irs} + r_{ira}) / (r_{irs} - r_{ira}) - 1| < 10 \quad \dots (38-1)$$

さらに好ましくは、次の条件式を満たすのがよい。

$$0.05 < |(r_{irs} + r_{ira}) / (r_{irs} - r_{ira}) - 1| < 5 \quad \dots (38-2)$$

撮像素子にCCDを用いる場合、結像光学系から射出された軸外光束が像面に對して余りに大きな角度で入射すると、画像中央部と画像周辺部で画像の明るさが変化してしまう。一方、像面に對して小さい角度で入射させるとこの問題は軽減されるが、今度は光学系の全長が大きくなつてしまふ。そのため、次の条件式を満たすのがよい。

$$10^\circ < \alpha < 40^\circ \quad \dots (39)$$

ただし、 α は最大像高における主光線の像面への入射角度である。

この条件式の上限の 40° を越えると、CCDへの入射角が大きくなりすぎ画像周辺部の明るさが低下してしまい、下限の 10° を越えると、全長が大きくなつてしまふ。

なお好ましくは、次の条件式を満たすのがよい。

$$15^\circ < \alpha < 35^\circ \quad \dots (39-1)$$

さらに好ましくは、次の条件式を満たすのがよい。

$$17.5^\circ < \alpha < 25^\circ \quad \dots (39-2)$$

第3の発明は、以上の何れかの結像光学系と、その像側に配された電子撮像素子を備えた電子撮像装置を含むものである。

その場合に、半画角が 30° よりも大きく 50° よりも小さいことが望ましい。

この下限値の 30° を越えると、撮影範囲が狭くなってしまい、上限値の 50° を越えると、ディストーションが起こりやすくなる。また、電子撮像素子の有効撮像領域の周辺へ入射する光束の入射角が大きくなり、像劣化が起こりやすくなる。

また、第3の発明の別の撮像装置は、物体側から順に、明るさ絞り、像側に凸面を向けた第1正メニスカスレンズ、第2負レンズ、第3正レンズの順に配置された結像光学系、及び、その像側に配された撮像素子を有し、前記明るさ絞りは、光軸が通過する開口形状が固定されており、かつ、開口部の外周面を像面側程光軸に近づくように、最軸外光束の入射角以上の傾斜角で傾斜させたことを特徴とするものである。

この構成の作用を説明すると、明るさ絞り周辺面での反射光が結像光学系の内部に入射すると、ゴースト、フレアといった現象が起こりやすくなる。特に、本願発明のように、物体側から順に、明るさ絞り、第1正レンズ、第2負レンズ、第3正レンズの順に配置された小型の結像光学系では、撮像素子の撮像面も小さくなるため、相対的に明るさ絞りの外周面での反射光の影響が大きくなる。

そこで、第3の発明では、最も物体側に明るさ絞りが配されることを利用して、明るさ絞りの開口部の外周面を像面側程光軸に近づくように、最軸外光束の入射角以上の傾斜角で傾斜させた固定形状としている。

このような構成により、開口部の外周面で反射した光束が撮像素子に入射し難くなり、フレア、ゴーストの影響を低減することが可能になる。

また、第3の発明のさらに別の撮像装置は、物体側から順に、明るさ絞り、像側に凸面を向けた第1正メニスカスレンズ、第2負レンズ、第3正レンズの順に配置された結像光学系、及び、その像側に配された撮像素子を有し、前記結像光学系と前記撮像素子を保持しつつ前記明るさ絞りを同一樹脂材で一体成形したレ

ンズ枠を備えたことを特徴とするものである。

この構成の作用を説明すると、第3の発明の光学系は、明るさ絞りが最も物体側に位置する構成であるため、この絞り以降の各々のレンズは像側に配されるレンズ程有効面が大きくなる。したがって、これらのレンズを保持するレンズ枠を形成が容易な同一樹脂で一体成形することで、枠の像面側からレンズを挿入することでレンズの位置決めができるので、製造が容易となる。

その際に、レンズ枠に明るさ絞りの構成を一体化させることで、製造工程を大幅に削減し、かつ、このレンズ枠自体に撮像素子の保持機能を備えさせることで、枠内へごみが進入しづらい構成とすることが可能となる。

また、第3の発明のさらに別の撮像装置は、物体側から順に、明るさ絞り、像側に凸面を向けた第1正メニスカスレンズ、第2負レンズ、第3正レンズの順に配置された結像光学系、及び、その像側に配された撮像素子を有し、前記結像光学系を保持するレンズ枠を備え、少なくとも前記第1正レンズ、第3正レンズの各々の外周に、物体側程光軸に近づくよう傾斜させた傾斜部を設け、前記レンズ枠に前記傾斜部が当接していることを特徴とするものである。

この構成の作用を説明すると、第3の発明の光学系は、明るさ絞りが最も物体側に位置する構成であるため、この絞り以降の各々のレンズは像側に配されるレンズ程有効面が大きくなる。特に第1正レンズと第3正レンズで顕著となる。したがって、上述の構成とすることで軸外光束に沿ったレンズ外形となり、ケラレを抑えつつ小型化し、枠の像面側からレンズを挿入することでレンズの位置決めができるので、製造が容易となる。

さらには、全レンズの外周に物体側程光軸に近づくよう傾斜させた傾斜部を設け、上記レンズ枠にその傾斜部が当接するようにしてもよい。

また、第3の発明のさらに別の撮像装置は、物体側から順に、明るさ絞り、像側に凸面を向けた第1正メニスカスレンズ、第2負レンズ、第3正レンズの順に配置された結像光学系、及び、その像側に配された撮像素子を有し、前記結像光学系を保持するレンズ枠を備え、前記第1正レンズの形状が入射側から見たときに円形であり、前記第3正レンズの形状が、入射側から見たときに撮像素子の有

効撮像領域の短辺方向に対応する方向の長さが有効撮像領域の長辺方向に対応する長さよりも短いことを特徴とするものである。

この構成の作用を説明すると、第3の発明の光学系は、明るさ絞りが最も物体側に位置する構成であるため、この絞り以降の各々のレンズは像側に配されるレンズ程有効面が大きくなる。また、有効光束は、像面側程撮像素子の有効撮像領域の形状に近づいてくる。したがって、上述の構成とすることで、有効光束に沿ったレンズ外形となり、ケラレを抑えつつ小型化ができる。

なお、以上の各条件式に共通して、各条件式範囲をより限定した下位の条件式の上限値のみ、又は、下限値のみをその上位の条件式の上限値あるいは下限値として限定するようにしてもよい。

また、以上の条件式は、任意に複数を組み合わせることで、より第3の発明の効果を高めることができる。

次に、第4の発明において上記のような構成をとった理由と作用を以下に説明する。

まず、レンズ枚数について説明する。第4の発明では、性能と小型化を考慮した結果、レンズ枚数を3枚で構成した。レンズ枚数を4枚以上にすればさらに性能が向上するのは明らかであるが、1枚レンズが増えることにより、レンズの厚さ、レンズの間隔、枠のスペースがそれだけ多くなり、大型化するのは避けられない。また、上記の従来の技術の項で述べたように、2枚以下では像面湾曲が小さくならずかなり周辺性能は劣化する。3枚で構成するのが性能、大きさ共に最適である。

次に、撮像素子であるCCDへの光線入射角を小さくするために、明るさ絞りを最も物体側に配置した。射出瞳位置を物体側に遠くなるようにレンズのパワーを構成すればよいが、枚数が少ないので明るさ絞りの位置を物体側に配置するのが最も効果的である。

ここで、明るさ絞りを最も物体側に配置すると、絞りに対して一方にしかレンズがないので、光学設計には周辺性能であるディストーションと倍率色収差の補

正が難しくなってくる。そのため、物体側より、正レンズ、負レンズ、正レンズと配置することにより、光線高の大きくなる第2レンズ、第3レンズに異符号のパワーを配置して補正している。なお、中心性能は、第1正レンズで発生する球面収差、軸上色収差を第2負レンズで補正し、画面全体の高性能化を達成している。

このとき、第1正レンズは、上記の発明が解決しようとする課題の項で述べたように、像側に凸のメニスカス形状にする。これにより、広角化しても高性能を達成できる。

ここで、広角の光学系を構成する場合には、画面周辺の収差、特に倍率色収差とディストーションを十分補正しないと、高性能化は図れない。これらの収差は、明るさ絞りから遠くに配置され周辺の光線高が高くなる第2レンズと第3レンズで発生しやすい。

そのため、第4の発明の第1の結像光学系では、第2負レンズと第3正レンズのパワー配分に注目した。すなわち、次の条件式を満たす必要がある。

$$-0.55 < f_2 / f_3 < -0.1 \quad \dots \quad (41)$$

ただし、 f_2 は第2負レンズの焦点距離、 f_3 は第3正レンズの焦点距離である。

この条件式の上限の -0.1 を越えると、正のパワーが弱くなるか、負のパワーが強くなりすぎて、下限の -0.55 を越えると、正のパワーが強くなるか、負のパワーが弱くなりすぎて、共に倍率色収差とディストーションが悪化してしまう。

なお好ましくは、次の条件式を満たすのがよい。

$$-0.5 < f_2 / f_3 < -0.15 \quad \dots \quad (41-1)$$

ここで、明るさ絞りから最も遠い第3正レンズは周辺の光線高が最も高くなるため、倍率色収差とディストーションの補正効果が最も高い。そのため、第4の発明の第2の結像光学系では、そのレンズ形状に着目した。特に入射面の方が、周辺の主光線高が第2負レンズと近くなるので、効果的に収差を打ち消しあうことができる。そのため、例えばその形状を像側に凸のメニスカスにすると、入射

側では負の補正効果となって補正できなくなってしまう。そのため、次の条件式を満たすのがよい。

$$-2.0 < (r_{3f} + r_{3r}) / (r_{3f} - r_{3r}) < 0.85 \quad \dots \quad (42)$$

ただし、 r_{3f} は第3正レンズの物体側面の光軸上曲率半径、 r_{3r} は第3正レンズの像側面の光軸上曲率半径である。

この条件式の上限の0.85を越えると、入射面の補正効果が低くなり倍率色収差とディストーションが悪化してしまい、下限の-2.0を越えると、物体側に凸のメニスカス形状がきつくなりすぎ、コマ収差、非点収差が悪化してしまう。

なお好ましくは、次の条件式を満たすのがよい。

$$-1.5 < (r_{3f} + r_{3r}) / (r_{3f} - r_{3r}) < 0.7 \quad \dots \quad (42-1)$$

なお好ましくは、第3正レンズは両面共正パワーを持つ両凸形状がよい。このとき、次の条件式を満たすのがよい。

$$-0.95 < (r_{3f} + r_{3r}) / (r_{3f} - r_{3r}) < 0.85 \quad \dots \quad (42-2)$$

このとき、なお好ましくは、次の条件式を満たすのがよい。

$$-0.8 < (r_{3f} + r_{3r}) / (r_{3f} - r_{3r}) < 0.1 \quad \dots \quad (42-3)$$

また、第3正レンズは物体側に凸のメニスカス形状でもかまわない。そのとき、次の条件式を満たすのが良い。

$$-2.0 < (r_{3f} + r_{3r}) / (r_{3f} - r_{3r}) < -1.0 \quad \dots \quad (42-4)$$

このとき、なお好ましくは、次の条件式を満たすのがよい。

$$-1.5 < (r_{3f} + r_{3r}) / (r_{3f} - r_{3r}) < -1.1 \quad \dots \quad (42-5)$$

このとき、第1正レンズ、第2負レンズで形成した像を第3正レンズで倍率変換しているので、収差も同様に倍率により変化する。また、これにより光学系の小型化にも影響する。よって、上記の条件式の他に第3正レンズの横倍率を設定する必要がある。よって、次の条件式を満たす必要がある。

$$0.1 < \beta_3 < 1.0 \quad \dots \quad (43)$$

ただし、 β_3 は第3正レンズの横倍率である。

この条件式の上限の 1. 0 を越えると、画面周辺の収差、特に倍率色収差とディストーションが劣化してしまい、下限の 0. 1 を越えると、光学系が大型化してしまう。

なお好ましくは、次の条件式を満たすのがよい。

$$0.2 < \beta_3 < 0.8 \quad \dots \quad (43-1)$$

また、倍率色収差は光線高の高くなる第 2 負レンズと第 3 正レンズの構成に大きく依存している。特に、第 2 負レンズの射出面と第 3 正レンズの入射面のパワーのバランスを取ることが非常に重要である。よって、次の条件式を満たすのがよい。

$$0.1 < r_{2r} / r_{3f} < 1.0 \quad \dots \quad (44)$$

ただし、 r_{2r} は第 2 負レンズの像側面の光軸上曲率半径、 r_{3f} は第 3 正レンズの物体側面の光軸上曲率半径である。

この条件式の上限の 1. 0、下限の 0. 1 を越えると、何れも第 2 負レンズの像側面のパワーと第 3 正レンズの物体側面のパワーのバランスが崩れ、共に倍率色収差が悪化してしまう。

なお好ましくは、次の条件式を満たすのがよい。

$$0.1 < r_{2r} / r_{3f} < 0.5 \quad \dots \quad (44-1)$$

さらに好ましくは、次の条件式を満たすのがよい。

$$0.05 < r_{2r} / r_{3f} < 0.23 \quad \dots \quad (44-2)$$

また、周辺収差だけでなく軸上収差も適切に補正しないと、高性能は達成できない。第 1 正レンズは明るさ絞りに最も近いため、球面収差の補正に効果的である。また、第 3 正レンズは逆に最も遠いので周辺性能への影響が大きい。そのため、バランスを取るために次の条件式を満たすのがよい。

$$-0.25 < r_{1r} / r_{3r} < 0.6 \quad \dots \quad (45)$$

ただし、 r_{1r} は第 1 正レンズの像側面の光軸上曲率半径、 r_{3r} は第 3 正レンズの像側面の光軸上曲率半径である。

この条件式の上限の 0. 6、下限の -0. 25 を越えると、何れも収差バランスを取り難くなる。

なお好ましくは、次の条件式を満たすのがよい。

$$-0.2 < r_{1r} / r_{3r} < 0.45 \quad \dots \quad (45-1)$$

さらに好ましくは、次の条件式を満たすのがよい。

$$-0.15 < r_{1r} / r_{3r} < 0.35 \quad \dots \quad (45-2)$$

また、第3正レンズの屈折率は次の条件式を満たすのがよい。

$$1.40 < n_3 < 1.66 \quad \dots \quad (46)$$

ただし、 n_3 は第3正レンズの屈折率である。

この条件式の上限の 1.66 を越えると、像面湾曲が悪化したり、ガラスが高価になりコストが上がったりしてしまい、下限の 1.40 を越えると、コマ収差、非点収差の発生が大きくなり性能が劣化してしまう。

なお好ましくは、次の条件式を満たすのがよい。

$$1.45 < n_3 < 1.60 \quad \dots \quad (46-1)$$

また、第1正レンズは最も絞りに近いため、中心から周辺の光束は略レンズの同じ領域を通過している。すなわち、この面の収差発生を適切に補正しておかないと、第2負レンズ、第3正レンズで補正し切れなくなる場合があり、全画面の性能が、特にコマ収差や非点収差が劣化してしまう。そのため、次の条件式を満たすのが好ましい。

$$1.0 < (r_{1f} + r_{1r}) / (r_{1f} - r_{1r}) < 2.5 \quad \dots \quad (47)$$

ただし、 r_{1f} は第1正レンズの物体側面の光軸上曲率半径、 r_{1r} は第1正レンズの像側面の光軸上曲率半径である。

この条件式の上限の 2.5 を越えると、相対的に第1正レンズの像側の面のパワーが強くなりすぎて、特に球面収差、コマ収差が悪化してしまい、下限の 1.0 を越えると、相対的に第1正レンズの物体側の面のパワーが弱くなりすぎて、軸外収差、特に非点収差、コマ収差が悪化してしまう。

なお好ましくは、次の条件式を満たすのがよい。

$$1.0 < (r_{1f} + r_{1r}) / (r_{1f} - r_{1r}) < 1.7 \quad \dots \quad (47-1)$$

さらに好ましくは、次の条件式を満たすのがよい。

$$1.1 < (r_{1f} + r_{1r}) / (r_{1f} - r_{1r}) < 1.6 \quad \dots \quad (47-2)$$

また、第2負レンズは第1正レンズと第3正レンズの中間に配置されているので、このパワーを適切に設定しておかないと、両正レンズの収差発生を効果的に補正できなくなってしまう。そのため、次の条件式を満たすのがよい。

$$-1.0 < f_2 / I_h < -0.05 \quad \dots \quad (48)$$

ただし、 f_2 は第2負レンズの焦点距離、 I_h は最大像高である。

この条件式の上限の -0.05 を越えると、第2負レンズのパワーが強くなりすぎ補正過剰になってしまい、下限の -1.0 を越えると、パワーが弱くなりすぎ補正不足になってしまい、共に性能が劣化する。

なお好ましくは、次の条件式を満たすのがよい。

$$-0.75 < f_2 / I_h < -0.1 \quad \dots \quad (48-1)$$

さらに好ましくは、次の条件式を満たすのがよい。

$$-0.6 < f_2 / I_h < -0.25 \quad \dots \quad (48-2)$$

また、第2負レンズで光線が発散されるため、第3正レンズの物体側の面に入射するときには光線が急角度で入りやすい。そのため、ここで非点収差やコマ収差が発生しやすくなる。特に広角の光学系を構成する場合には、この面で発生する収差を十分に補正する必要がある。そのため、少なくとも第3正レンズの物体側の面を非球面で構成するのがよい。このとき、この非球面は正パワーが緩くなる方向の非球面にするのが好ましい。なお、この非球面は次の条件式を満たすのがよい。

$$0.01 < | (r_{3fs} + r_{3fa}) / (r_{3fs} - r_{3fa}) - 1 | < 1.00 \quad \dots \quad (49)$$

ただし、 r_{3fs} は第3正レンズの物体側面における光軸上曲率半径、 r_{3fa} は第3正レンズの物体側面の非球面を考慮した曲率半径 r_{ASP} の中の最大像高の主光線が通過するポイントより内側の範囲で光軸上曲率半径との差が最も変化したときの値である。

ここで、非球面を考慮した曲率半径 r_{ASP} は、非球面定義式を $f(y)$ としたとき、次の式で定義される。以下、同じ。

$$r_{ASP} = y \cdot (1 + f'(y)^2)^{1/2} / f'(y)$$

ただし、 y は光軸からの高さ、 $f'(y)$ は $f(y)$ の一階微分とする。

この条件式(49)の上限の100を越えると、非球面効果が小さくなりすぎて非点収差、コマ収差が補正できなくなってしまい、下限の0.01を越えると、非球面効果が大きくなりすぎて加工が難しくなってしまう。

なお好ましくは、次の条件式を満たすのがよい。

$$0.05 < |(r_{2fs} + r_{2fa}) / (r_{2fs} - r_{2fa}) - 1| < 10 \quad \dots (49-1)$$

また、第3正レンズの像面側の面は像面に最も近い面になるので、光束が細くなり球面収差やコマ収差の補正能力が比較的落ちる。そのため、第3正レンズの像面側の面でそれらの収差に影響を与えず、主光線収差であるディストーションを重点的に補正することができる。よって、この面に非球面を用いるのがよい。また、このとき、この非球面は正パワーが緩くなる方向の非球面にするのが好ましい。一方、余り正パワーを弱くしすぎると、像面への入射角をきつくなってしまうので、ある程度正パワーを強くしておく必要もある。そのため、この非球面は次の条件式を満たすのがよい。

$$0.01 < |(r_{3rs} + r_{3ra}) / (r_{3rs} - r_{3ra}) - 1| < 100 \quad \dots (50)$$

ただし、 r_{3rs} は第3正レンズの像側面における光軸上曲率半径、 r_{3ra} は第3正レンズの像側面の非球面を考慮した曲率半径の中の最大像高の主光線が通過するポイントより内側の範囲で光軸上曲率半径との差が最も変化したときの値である。

この条件式の上限の100を越えると、非球面効果が小さくなりすぎてディストーションが良好に補正できなくなってしまい、下限の0.01を越えると、像面への入射角が大きくなってしまう。

なお好ましくは、次の条件式を満たすのがよい。

$$0.05 < |(r_{3rs} + r_{3ra}) / (r_{3rs} - r_{3ra}) - 1| < 10 \quad \dots (50-1)$$

さらに好ましくは、次の条件式を満たすのがよい。

$$0.1 < |(r_{3rs} + r_{3ra}) / (r_{3rs} - r_{3ra}) - 1| < 2.5 \quad \dots (50-2)$$

撮像素子にCCDを用いる場合、結像光学系から射出された軸外光束が像面に對して余りに大きな角度で入射すると、画像中央部と画像周辺部で画像の明るさが変化してしまう。一方、像面に対して小さい角度で入射させるとこの問題は軽減されるが、今度は光学系の全長が大きくなってしまう。そのため、次の条件式を満たすのがよい。

$$10^\circ < \alpha < 40^\circ \quad \dots (51)$$

ただし、 α は最大像高における主光線の像面への入射角度である。

この条件式の上限の 40° を越えると、CCDへの入射角が大きくなりすぎ画像周辺部の明るさが低下してしまい、下限の 10° を越えると、全長が大きくなりすぎてしまう。

なお好ましくは、次の条件式を満たすのがよい。

$$15^\circ < \alpha < 35^\circ \quad \dots (51-1)$$

さらに好ましくは、次の条件式を満たすのがよい。

$$17.5^\circ < \alpha < 25^\circ \quad \dots (51-2)$$

第4の発明は、以上の何れかの結像光学系と、その像側に配された電子撮像素子を備えた電子撮像装置を含むものである。

また、第4の発明の別の撮像装置は、物体側から順に、明るさ絞り、像側に凸面を向けた第1正メニスカスレンズ、第2負レンズ、第3正レンズの順に配置された結像光学系、及び、その像側に配された撮像素子を有し、前記明るさ絞りは、光軸が通過する開口形状が固定されており、かつ、開口部の外周面を像面側程光軸に近づくように、最軸外光束の入射角以上の傾斜角で傾斜させたことを特徴とするものである。

この構成の作用を説明すると、明るさ絞り周辺面での反射光が結像光学系の内部に入射すると、ゴースト、フレアといった現象が起こりやすくなる。特に、本願発明のように、物体側から順に、明るさ絞り、第1正レンズ、第2負レンズ、

第3正レンズの順に配置された小型の結像光学系では、撮像素子の撮像面も小さくなるため、相対的に明るさ絞りの外周面での反射光の影響が大きくなる。

そこで、第4の発明では、最も物体側に明るさ絞りが配されることを利用して、明るさ絞りの開口部の外周面を像面側程光軸に近づくように、最軸外光束の入射角以上の傾斜角で傾斜させた固定形状としている。

このような構成により、開口部の外周面で反射した光束が撮像素子に入射し難くなり、フレア、ゴーストの影響を低減することが可能になる。

また、第4の発明のさらに別の撮像装置は、物体側から順に、明るさ絞り、像側に凸面を向けた第1正メニスカスレンズ、第2負レンズ、第3正レンズの順に配置された結像光学系、及び、その像側に配された撮像素子を有し、前記結像光学系と前記撮像素子を保持しつつ前記明るさ絞りを同一樹脂材で一体成形したレンズ枠を備えたことを特徴とするものである。

この構成の作用を説明すると、第4の発明の光学系は、明るさ絞りが最も物体側に位置する構成であるため、この絞り以降の各々のレンズは像側に配されるレンズ程有効面が大きくなる。したがって、これらのレンズを保持するレンズ枠を形成が容易な同一樹脂で一体成形することで、枠の像面側からレンズを挿入することでレンズの位置決めができるので、製造が容易となる。

その際に、レンズ枠に明るさ絞りの構成を一体化させることで、製造工程を大幅に削減し、かつ、このレンズ枠自体に撮像素子の保持機能を備えさせることで、枠内へごみが進入しづらい構成とすることが可能となる。

また、第4の発明の第3の撮像装置は、物体側から順に、明るさ絞り、像側に凸面を向けた第1正メニスカスレンズ、第2負レンズ、第3正レンズの順に配置された結像光学系、及び、その像側に配された撮像素子を有し、前記結像光学系を保持するレンズ枠を備え、少なくとも前記第1正レンズ、第3正レンズの各々の外周に、物体側程光軸に近づくよう傾斜させた傾斜部を設け、前記レンズ枠に前記傾斜部が当接していることを特徴とするものである。

この構成の作用を説明すると、第4の発明の光学系は、明るさ絞りが最も物体側に位置する構成であるため、この絞り以降の各々のレンズは像側に配されるレ

ンズ程有効面が大きくなる。特に第1正レンズと第3正レンズで顕著となる。したがって、上述の構成とすることで軸外光束に沿ったレンズ外形となり、ケラレを抑えつつ小型化し、枠の像面側からレンズを挿入することでレンズの位置決めができるので、製造が容易となる。

さらには、全レンズの外周に物体側程光軸に近づくよう傾斜させた傾斜部を設け、上記レンズ枠にその傾斜部が当接するようにしてもよい。

また、第4の発明の第4の撮像装置は、物体側から順に、明るさ絞り、像側に凸面を向けた第1正メニスカスレンズ、第2負レンズ、第3正レンズの順に配置された結像光学系、及び、その像側に配された撮像素子を有し、前記結像光学系を保持するレンズ枠を備え、前記第1正レンズの形状が入射側から見たときに円形であり、前記第3正レンズの形状が、入射側から見たときに撮像素子の有効撮像領域の短辺方向に対応する方向の長さが有効撮像領域の長辺方向に対応する長さよりも短いことを特徴とするものである。

この構成の作用を説明すると、第4の発明の光学系は、明るさ絞りが最も物体側に位置する構成であるため、この絞り以降の各々のレンズは像側に配されるレンズ程有効面が大きくなる。また、有効光束は、像面側程撮像素子の有効撮像領域の形状に近づいてくる。したがって、上述の構成とすることで、有効光束に沿ったレンズ外形となり、ケラレを抑えつつ小型化ができる。

なお、以上の各条件式に共通して、各条件式範囲をより限定した下位の条件式の上限値のみ、又は、下限値のみをその上位の条件式の上限値あるいは下限値として限定するようにしてもよい。

また、以上の条件式は、任意に複数を組み合わせることで、より第4の発明の効果を高めることができる。

次に、第5の発明において上記のような構成をとった理由と作用を以下に説明する。

まず、レンズ枚数について説明する。第5の発明では、性能と小型化を考慮した結果、レンズ枚数を3枚で構成した。レンズ枚数を4枚以上にすればさらに性

能が向上するのは明らかであるが、1枚レンズが増えることにより、レンズの厚さ、レンズの間隔、枠のスペースがそれだけ多くなり、大型化するのは避けられない。また、上記の従来の技術の項で述べたように、2枚以下では像面湾曲が小さくならずかなり周辺性能は劣化する。3枚で構成するのが性能、大きさ共に最適である。

次に、撮像素子であるCCDへの光線入射角を小さくするために、明るさ絞りを最も物体側に配置した。射出瞳位置を物体側に遠くなるようにレンズのパワーを構成すればよいが、枚数が少ないので明るさ絞りの位置を物体側に配置するのが最も効果的である。

ここで、明るさ絞りを最も物体側に配置すると、絞りに対して一方にしかレンズがないので、光学設計には周辺性能であるディストーションと倍率色収差の補正が難しくなってくる。そのため、物体側より、正レンズ、負レンズ、正レンズと配置することにより、光線高の大きくなる第2レンズ、第3レンズに異符号のパワーを配置して補正している。なお、中心性能は、第1正レンズで発生する球面収差、軸上色収差を第2負レンズで補正し、画面全体の高性能化を達成している。

また、第1正レンズは、発明が解決しようとする課題の項で述べたように、像側に凸のメニスカス形状をしている。このように入射面を負パワーにすることにより、軸外収差を良好に補正できる構成になる。ところが、メニスカス形状だと入射面は負パワーなので、第1レンズの正パワーを維持するためには、射出面の正パワーを強くしなければならず、その面での収差発生量は大きくなってしまう。

そこで、第5の発明の第1の結像光学系では、第2負レンズを物体側に凸のメニスカス形状にして、その入射面を正パワーにしている。これにより、第1正レンズの正パワーを第2負レンズに振り分けることができ、収差発生量を減少させることができる。一方、小型化のためには、全系の焦点距離に対してその主点を物体側に移動させる必要がある。よって、その正パワーの振り分けにより主点が移動する。そのため、次の条件式を満たす必要がある。

$$-0.35 < r_{1r} / r_{2r} < -0.08 \quad \dots (61)$$

ただし、 r_{1r} は第1正レンズの像側面の光軸上曲率半径、 r_{2r} は第2負レンズの物体側面の光軸上曲率半径である。

この条件式の上限の-0.08を越えると、第2負レンズの入射面のパワーが強くなりすぎて全系の主点が像側に移動してしまい、小型化に不利な構成になってしまい、下限の-0.35を越えると、第2負レンズのパワーが弱くなりすぎ、第1正レンズで発生する残存収差、特に球面収差、コマ収差が十分補正できなくなってしまう。

なお好ましくは、次の条件式を満たすのがよい。

$$-0.3 < r_{1r} / r_{2r} < -0.1 \quad \dots (61-1)$$

なお、これと同時に、これらの正パワーで発生する収差を負パワーで補正しなければ、高性能は満たせない。そのため、第1レンズの像側の正パワーと第2レンズの像側の負パワーは、次の条件式を満たす必要がある。

$$-1.5 < r_{1r} / r_{2r} < -0.75 \quad \dots (62)$$

ただし、 r_{1r} は第1正レンズの像側面の光軸上曲率半径、 r_{2r} は第2負レンズの像側面の光軸上曲率半径である。

この条件式の上限の-0.75を越えると、第2レンズの射出面の負のパワーが強くなりすぎて、第1レンズでの残存収差、特に球面収差、コマ収差の補正が過剰になってしまい、下限の-1.5を越えると、第1レンズの入射面の正パワーが強くなりすぎて、補正が不足してしまう。

なお好ましくは、次の条件式を満たすのがよい。

$$-1.2 < r_{1r} / r_{2r} < -0.8 \quad \dots (62-1)$$

また、第5の発明の第2の結像光学系では、第2負レンズと第3正レンズの最適な構成に注目する。

第2負レンズを物体側に凸のメニスカス形状にして、その入射面を正パワーにすることにより、第1正レンズの正パワーを分割し、その結果、球面収差、コマ収差の発生を軽減できることは既に述べた。この構成にすると、第2負レンズは明るさ絞りから遠い方の像側の面のみが負の発散作用を持つ。このとき、第1正

レンズは明るさ絞りに近いため、画面周辺の主光線高は低く、第2負レンズの像側の面で発生する軸外収差、特に倍率色収差の補正には効果的ではない。そのため、第2負レンズのメニスカス効果を強くしすぎると、第1正レンズだけでは収差補正が難しくなる。それを補正するには、第2負レンズより像側に配置され周辺の主光線高の高い第3正レンズ、特に周辺主光線高が第2レンズと近いその入射面のパワーの関係が重要になってくる。一方、全系の焦点距離に対して全長を短くするには、望遠タイプを形成するのが効果的である。この場合、第2負レンズと第3正レンズはこれとは逆の配置なので、適切なパワー配分をしないと、小型化を達成し難くなる。また、負メニスカスレンズは像側に主点が移動するので、メニスカス形状も小型化に影響する。そのため、第2負レンズの入射面と第3正レンズの入射面は次の条件式を満たすのがよい。

$$0.2 < r_{2f} / r_{3f} < 3.5 \quad \dots \quad (63)$$

ただし、 r_{2f} は第2負レンズの物体側面の光軸上曲率半径、 r_{3f} は第3正レンズの物体側面の光軸上曲率半径である。

この条件式の上限の3.5を越えると、第3正レンズの入射面のパワーが強くなりすぎ軸外収差の補正が過剰になってしまい、下限の0.2を越えると、第2負レンズの射出面の負のパワーが強くなりすぎ、画面周辺の性能が劣化してしまうか、効果的に小型化できなくなってしまう。

なお好ましくは、次の条件式を満たすのがよい。

$$0.4 < r_{2f} / r_{3f} < 2.5 \quad \dots \quad (63-1)$$

また、何れの場合も、第2負レンズと第3正レンズは、画面周辺の性能と小型化に影響するので、適切なパワー配置をすることが望ましい。よって、次の条件式を満たすのがよい。

$$-0.7 < f_2 / f_3 < -0.1 \quad \dots \quad (64)$$

ただし、 f_2 は第2負レンズの焦点距離、 f_3 は第3正レンズの焦点距離である。

この条件式の上限の-0.1を越えると、第3正レンズのパワーが弱くなりすぎるか、第2負レンズのパワーが強くなりすぎて、倍率色収差、ディストーション

ンが補正過剰になってしまい、下限の-0.7を越えると、第3正レンズのパワーが強くなるか、第2負レンズのパワーが弱くなりすぎて、倍率色収差、ディストーションが補正不足になってしまう。

なお好ましくは、次の条件式を満たすのがよい。

$$-0.5 < f_2 / f_3 < -0.25 \quad \dots \quad (64-1)$$

ここで、明るさ絞りから最も遠い第3正レンズは周辺の光線高が最も高くなるため、倍率色収差とディストーションの補正効果が最も高い。そのため、そのレンズ形状も適切に設定する必要がある。特に入射面の方が、周辺の主光線高が第2レンズと近くなるので補正には効果的である。そのため、例えば、その形状を像側に凸のメニスカスにすると、入射側では負の補正効果となって補正できなくなってしまう。そのため、次の条件式を満たすのがよい。

$$-2.0 < (r_{3f} + r_{3r}) / (r_{3f} - r_{3r}) < 0.8 \quad \dots \quad (65)$$

ただし、 r_{3f} は第3正レンズの物体側面の光軸上曲率半径、 r_{3r} は第3正レンズの像側面の光軸上曲率半径である。

この条件式の上限の0.8を越えると、入射面の補正効果が低くなり、倍率色収差とディストーションが悪化してしまい、下限の-2.0を越えると、物体側に凸のメニスカス形状がきつくなりすぎ、コマ収差、非点収差が悪化してしまう。

なお好ましくは、次の条件式を満たすのがよい。

$$-1.5 < (r_{3f} + r_{3r}) / (r_{3f} - r_{3r}) < 0.5 \quad \dots \quad (65-1)$$

なお好ましくは、両面共正パワーを持つ両凸形状が好ましい。

このとき、次の条件式を満たすのがよい。

$$-0.95 < (r_{3f} + r_{3r}) / (r_{3f} - r_{3r}) < 0.8 \quad \dots \quad (65-2)$$

なお好ましくは、次の条件式を満たすのがよい。

$$-0.8 < (r_{3f} + r_{3r}) / (r_{3f} - r_{3r}) < 0.1 \quad \dots \quad (65-3)$$

このとき、第2負レンズの曲率半径は次の条件式を満たすのがよい。

$$1.2 < (r_{2f} + r_{2r}) / (r_{2f} - r_{2r}) < 2.0 \quad \dots \quad (66)$$

ただし、 r_{2f} は第2負レンズの物体側面の光軸上曲率半径、 r_{2r} は第2負レンズ

の像側面の光軸上曲率半径である。

この条件式の上限の 2.0 を越えると、物体側の負パワーが弱くなりすぎ第 1 正レンズによる収差を良好に補正できなくなり、下限の 1.2 を越えると、周辺光束の光線高の高くなる像側の面のパワーが弱くなりすぎて倍率色収差が悪化してしまう。

なお好ましくは、次の条件式を満たすのがよい。

$$1.4 < (r_{2f} + r_{2r}) / (r_{2f} - r_{2r}) < 1.8 \quad \dots \quad (66-1)$$

また、第 2 負レンズの物体側の面は非球面で構成すると、良好に収差補正することができ、次の条件式を満たすのが望ましい。

$$0.01 < |(r_{2fs} + r_{2fa}) / (r_{2fs} - r_{2fa}) - 1| < 100 \quad \dots \quad (67)$$

ただし、 r_{2fs} は第 2 負レンズの物体側面の光軸上曲率半径、 r_{2fa} は第 2 負レンズの物体側面の非球面を考慮した曲率半径 r_{ASP} の中の光学有効範囲内で光軸上曲率半径との差が最も変化したときの値である。

ここで、非球面を考慮した曲率半径 r_{ASP} は、非球面定義式（面頂に接する接平面から光軸進行方向を正としたときの形状の関数）を $f(y)$ としたとき、次の式で定義される。以下、同じ。

$$r_{ASP} = y \cdot (1 + f'(y)^2)^{1/2} / f'(y)$$

ただし、 y は光軸からの高さ、 $f'(y)$ は $f(y)$ の一階微分とする。

この条件式の上限の 100 を越えると、非球面効果が弱くなりすぎて補正不足になってしまい、コマ収差、非点収差が悪化てしまい、下限の 0.01 を越えると、非球面効果が強くなりすぎて補正過剰になり、性能が劣化すると共にレンズの加工が難しくなってしまう。

なお好ましくは、次の条件式を満たすのがよい。

$$0.1 < |(r_{2fs} + r_{2fa}) / (r_{2fs} - r_{2fa}) - 1| < 10.0 \quad \dots \quad (67-1)$$

さらに好ましくは、次の条件式を満たすのがよい。

$$1.5 < |(r_{2fs} + r_{2fa}) / (r_{2fs} - r_{2fa}) - 1| < 3.5$$

・・・ (67-2)

また、第2負レンズの像側の面は非球面で構成すると、良好に収差補正することができ、次の条件式を満たすのが望ましい。

$$0.01 < |(r_{2rs} + r_{2ra}) / (r_{2rs} - r_{2ra}) - 1| < 100$$

・・・ (68)

ただし、 r_{2rs} は第2負レンズの像側面の光軸上曲率半径、 r_{2ra} は第2負レンズの像側面の非球面を考慮した曲率半径の中の光学有効範囲内で光軸上曲率半径との差が最も変化したときの値である。

この条件式の上限の 100 を越えると、非球面効果が弱くなりすぎて補正不足になってしまい、コマ収差、非点収差が悪化してしまい、下限の 0.01 を越えると、非球面効果が強くなりすぎて補正過剰になり、性能が劣化すると共にレンズの加工が難しくなってしまう。

なお好ましくは、次の条件式を満たすのがよい。

$$0.05 < |(r_{2rs} + r_{2ra}) / (r_{2rs} - r_{2ra}) - 1| < 10.0$$

・・・ (68-1)

また、第2負レンズで光線が発散されるため、第3正レンズの物体側の面に入射するときには光線が急角度で入りやすい。そのため、ここで非点収差やコマ収差が発生しやすくなる。特に広角の光学系を構成する場合には、この面で発生する収差を十分に補正する必要がある。そのため、少なくとも第3正レンズの物体側の面を非球面で構成するのがよい。このとき、この非球面は正パワーが緩くなる方向の非球面にするのが好ましい。なお、この非球面は次の条件式を満たすのがよい。

$$0.01 < |(r_{3fs} + r_{3fa}) / (r_{3fs} - r_{3fa}) - 1| < 100$$

・・・ (69)

ただし、 r_{3fs} は第3正レンズの物体側面の光軸上曲率半径、 r_{3fa} は第3正レンズの物体側面の非球面を考慮した曲率半径の中の最大像高の主光線が通過するポイントより内側の範囲で光軸上曲率半径との差が最も変化したときの値である。

この条件式の上限の 100 を越えると、非球面効果が弱くなりすぎて補正不足になってしまい、コマ収差、非点収差が悪化してしまい、下限の 0.01 を越えると、非球面効果が強くなりすぎて補正過剰になり、性能が劣化すると共にレンズの加工が難しくなってしまう。

なお好ましくは、次の条件式を満たすのがよい。

$$0.05 < |(r_{3rs} + r_{3ra}) / (r_{3rs} - r_{3ra}) - 1| < 10 \quad \dots (69-1)$$

また、第3正レンズの像面側の面は像面に最も近い面になるので、光束が細くなり球面収差やコマ収差の補正能力が比較的落ちる。そのため、第3正レンズの像面側の面でそれらの収差に影響を与えず、主光線収差であるディストーションを重点的に補正することができる。よって、この面に非球面を用いるのがよい。また、このとき、この非球面は正パワーが緩くなる方向の非球面にするのが好ましい。一方、余り正パワーを弱くしすぎると、像面への入射角をきつくなってしまうので、ある程度正パワーを強くしておく必要もある。そのため、この非球面は次の条件式を満たすのがよい。

$$0.01 < |(r_{3rs} + r_{3ra}) / (r_{3rs} - r_{3ra}) - 1| < 100 \quad \dots (70)$$

ただし、 r_{3rs} は第3正レンズの像側面の光軸上曲率半径、 r_{3ra} は第3正レンズの像側面の非球面を考慮した曲率半径の中の最大像高の主光線が通過するポイントより内側の範囲で光軸上曲率半径との差が最も変化したときの値である。

この条件式の上限の 100 を越えると、非球面効果が弱くなりすぎてディストーションが良好に補正できなくなってしまい、下限の 0.01 を越えると、像面への入射角が大きくなってしまう。

なお好ましくは、次の条件式を満たすのがよい。

$$0.05 < |(r_{3rs} + r_{3ra}) / (r_{3rs} - r_{3ra}) - 1| < 10 \quad \dots (70-1)$$

さらに好ましくは、次の条件式を満たすのがよい。

$$0.1 < |(r_{3rs} + r_{3ra}) / (r_{3rs} - r_{3ra}) - 1| < 2.5$$

・・・ (70-2)

撮像素子にCCDを用いる場合、結像光学系から射出された軸外光束が像面に對して余りに大きな角度で入射すると、画像中央部と画像周辺部で画像の明るさが変化してしまう。一方、像面に對して小さい角度で入射させるとこの問題は軽減されるが、今度は光学系の全長が大きくなってしまう。そのため、次の条件式を満たすのがよい。

$$10^\circ < \alpha < 40^\circ \quad \cdots (71)$$

ただし、 α は最大像高における主光線の像面への入射角度である。

この条件式の上限の 40° を越えると、CCDへの入射角が大きくなりすぎ画像周辺部の明るさが低下してしまい、下限の 10° を越えると、全長が大きくなりすぎてしまう。

なお好ましくは、次の条件式を満たすのがよい。

$$15^\circ < \alpha < 35^\circ \quad \cdots (71-1)$$

さらに好ましくは、次の条件式を満たすのがよい。

$$17.5^\circ < \alpha < 25^\circ \quad \cdots (71-2)$$

第5の発明は、以上の何れかの結像光学系と、その像側に配された電子撮像素子を備えた電子撮像装置を含むものである。

この場合に、結像光学系の半画角が 30° よりも大きく 50° よりも小さいことが望ましい。

この下限値の 30° を越えると、撮影範囲が狭くなってしまい、上限値の 50° を越えると、ディストーションが起こりやすくなる。また、電子撮像素子の有效撮像領域の周辺へ入射する光束の入射角が大きくなり、像劣化が起こりやすくなる。

また、第5の発明の別の撮像装置は、物体側から順に、明るさ絞り、像側に凸面を向けた第1正レンズ、第2負レンズ、第3正レンズの順に配置された結像光学系、及び、その像側に配された撮像素子を有し、前記明るさ絞りは、光軸が通過する開口形状が固定されており、かつ、開口部の外周面を像面側程光軸に近づくように、最軸外光束の入射角以上の傾斜角で傾斜させたことを特徴とするもの

である。

この構成の作用を説明すると、明るさ絞り周辺面での反射光が結像光学系の内部に入射すると、ゴースト、フレアといった現象が起こりやすくなる。特に、本願発明のように、物体側から順に、明るさ絞り、第1正レンズ、第2負レンズ、第3正レンズの順に配置された小型の結像光学系では、撮像素子の撮像面も小さくなるため、相対的に明るさ絞りの外周面での反射光の影響が大きくなる。

そこで、第5の発明では、最も物体側に明るさ絞りが配されることを利用して、明るさ絞りの開口部の外周面を像面側程光軸に近づくように、最軸外光束の入射角以上の傾斜角で傾斜させた固定形状としている。

このような構成により、開口部の外周面で反射した光束が撮像素子に入射し難くなり、フレア、ゴーストの影響を低減することが可能になる。

また、第5の発明のさらに別の撮像装置は、物体側から順に、明るさ絞り、像側に凸面を向けた第1正レンズ、第2負レンズ、第3正レンズの順に配置された結像光学系、及び、その像側に配された撮像素子を有し、前記結像光学系と前記撮像素子を保持しつつ前記明るさ絞りを同一樹脂材で一体成形したレンズ枠を備えたことを特徴とするものである。

この構成の作用を説明すると、第5の発明の光学系は、明るさ絞りが最も物体側に位置する構成であるため、この絞り以降の各々のレンズは像側に配されるレンズ程有効面が大きくなる。したがって、これらのレンズを保持するレンズ枠を形成が容易な同一樹脂で一体成形することで、枠の像面側からレンズを挿入することでレンズの位置決めができるので、製造が容易となる。

その際に、レンズ枠に明るさ絞りの構成を一体化させることで、製造工程を大幅に削減し、かつ、このレンズ枠自体に撮像素子の保持機能を備えさせることで、枠内へごみが進入しづらい構成とすることが可能となる。

また、第5の発明のさらに別の撮像装置は、物体側から順に、明るさ絞り、像側に凸面を向けた第1正レンズ、第2負レンズ、第3正レンズの順に配置された結像光学系、及び、その像側に配された撮像素子を有し、前記結像光学系を保持するレンズ枠を備え、少なくとも前記第1正レンズ、第3正レンズの各々の外周

に、物体側程光軸に近づくよう傾斜させた傾斜部を設け、前記レンズ枠に前記傾斜部が当接していることを特徴とするものである。

この構成の作用を説明すると、第5の発明の光学系は、明るさ絞りが最も物体側に位置する構成であるため、この絞り以降の各々のレンズは像側に配されるレンズ程有効面が大きくなる。特に第1正レンズと第3正レンズで顕著となる。したがって、上述の構成とすることで軸外光束に沿ったレンズ外形となり、ケラレを抑えつつ小型化し、枠の像面側からレンズを挿入することでレンズの位置決めができるので、製造が容易となる。

さらには、全レンズの外周に物体側程光軸に近づくよう傾斜させた傾斜部を設け、上記レンズ枠にその傾斜部が当接するようにしてもよい。

また、第5の発明のさらに別の撮像装置は、物体側から順に、明るさ絞り、像側に凸面を向けた第1正レンズ、第2負レンズ、第3正レンズの順に配置された結像光学系、及び、その像側に配された撮像素子を有し、前記結像光学系を保持するレンズ枠を備え、前記第1正レンズの形状が入射側から見たときに円形であり、前記第3正レンズの形状が、入射側から見たときに撮像素子の有効撮像領域の短辺方向に対応する方向の長さが有効撮像領域の長辺方向に対応する長さよりも短いことを特徴とするものである。

この構成の作用を説明すると、第5の発明の光学系は、明るさ絞りが最も物体側に位置する構成であるため、この絞り以降の各々のレンズは像側に配されるレンズ程有効面が大きくなる。また、有効光束は、像面側程撮像素子の有効撮像領域の形状に近づいてくる。したがって、上述の構成とすることで、有効光束に沿ったレンズ外形となり、ケラレを抑えつつ小型化ができる。

なお、以上の各条件式に共通して、各条件式範囲をより限定した下位の条件式の上限値のみ、又は、下限値のみをその上位の条件式の上限値あるいは下限値として限定するようにしてもよい。

また、以上の条件式は、任意に複数を組み合わせることで、より第5の発明の効果を高めることができる。

以下に、本発明の第1の発明の結像光学系の実施例1～4について説明する。実施例1～4の無限遠物点合焦時のレンズ断面図をそれぞれ図1～図4に示す。図中、明るさ絞りはS、第1正レンズはL1、第2負レンズはL2、第3正レンズはL3、電子撮像素子のカバーガラスはCG、像面はIで示してある。なお、カバーガラスCGの表面に波長域制限用の多層膜を施してもよい。また、そのカバーガラスCGにローパスフィルター作用を持たせるようにしてもよい。

実施例1の結像光学系は、図1に示すように、物体側から順に、明るさ絞りS、像側に凸面を向けた両面非球面の第1正メニスカスレンズL1、両凹の両面非球面の第2負レンズL2、両凸の両面非球面の第3正レンズL3、カバーガラスCGから構成されている。本実施例では、第1レンズL1～第3レンズL3は全てプラスチックからなり、第1レンズL1、第3レンズL3はアモルファスピリオレフィン系のゼオネックス（商品名）、第2レンズL2はポリカーボネイトから構成されている。

また、本実施例の仕様は、焦点距離 $f = 3.3\text{ mm}$ 、像高 $Ih = 2.4\text{ mm}$ であり、半画角 $\omega = 36^\circ$ の広角の光学系である。また、各レンズのそれぞれの光学有効径（片側）は、第2面 r_2 ～第7面 r_7 の順に、 0.644 mm , 0.962 mm , 1.144 mm , 1.247 mm , 1.526 mm , 1.815 mm である。

実施例2の結像光学系は、図2に示すように、物体側から順に、明るさ絞りS、像側に凸面を向けた両面非球面の第1正メニスカスレンズL1、両凹の両面非球面の第2負レンズL2、物体側に凸面を向けた両面非球面の第3正メニスカスレンズL3、カバーガラスCGから構成されている。本実施例では、第1レンズL1～第2レンズL2はガラス、第3レンズL3はプラスチックからなり、第3レンズL3はアモルファスピリオレフィン系のゼオネックス（商品名）から構成されている。

また、本実施例の仕様は、焦点距離 $f = 3.3\text{ mm}$ 、像高 $Ih = 2.4\text{ mm}$ であり、半画角 $\omega = 36^\circ$ の広角の光学系である。また、各レンズのそれぞれの光学有効径（片側）は、第2面 r_2 ～第7面 r_7 の順に、 0.667 mm , 1.0

4.3 mm, 1.088 mm, 1.062 mm, 1.195 mm, 1.641 mm
である。

実施例3の結像光学系は、図3に示すように、物体側から順に、明るさ絞りS、像側に凸面を向けた両面非球面の第1正メニスカスレンズL1、両凹の両面非球面の第2負レンズL2、両凸の両面非球面の第3正レンズL3、カバーガラスCGから構成されている。本実施例では、第1レンズL1、第3レンズL3はプラスチック、第2レンズL2はガラスからなり、第1レンズL1、第3レンズL3はアモルファスポリオレフィン系のゼオネックス（商品名）から構成されている。

また、本実施例の仕様は、焦点距離 $f = 3.3$ mm、像高 $I_h = 2.4$ mmであり、半画角 $\omega = 36^\circ$ の広角の光学系である。また、各レンズのそれぞれの光学有効径（片側）は、第2面 r_2 ～第7面 r_7 の順に、0.670 mm, 1.163 mm, 1.309 mm, 1.641 mm, 1.624 mm, 1.791 mmである。

実施例4の結像光学系は、図4に示すように、物体側から順に、明るさ絞りS、像側に凸面を向けた両面非球面の第1正メニスカスレンズL1、両凹の両面非球面の第2負レンズL2、両凸の両面非球面の第3正レンズL3、カバーガラスCGから構成されている。本実施例では、第1レンズL1～第3レンズL3は全てプラスチックからなり、第1レンズL1、第3レンズL3はアモルファスポリオレフィン系のゼオネックス（商品名）、第2レンズL2はポリカーボネイトから構成されている。

また、本実施例の仕様は、焦点距離 $f = 3.3$ mm、像高 $I_h = 2.4$ mmであり、半画角 $\omega = 36^\circ$ の広角の光学系である。また、各レンズのそれぞれの光学有効径（片側）は、第2面 r_2 ～第7面 r_7 の順に、0.652 mm, 0.962 mm, 1.097 mm, 1.291 mm, 1.397 mm, 1.682 mmである。

以下に、上記各実施例の数値データを示すが、記号は上記の外、 r_1 、 r_2 …は各レンズ面の曲率半径、 d_1 、 d_2 …は各レンズ面間の間隔、 n_{d1} 、 n_{d2} …は

各レンズの d 線の屈折率、 ν_{d1} 、 ν_{d2} …は各レンズのアッベ数である。なお、非球面形状は、 x を光の進行方向を正とした光軸とし、 y を光軸と直交する方向にとると、下記の式 (a) にて表される。

$$x = (y^2 / r) / [1 + \{1 - (K+1)(y/r)^2\}^{1/2}] \\ + A_4 y^4 + A_6 y^6 + A_8 y^8 + A_{10} y^{10} \dots \dots (a)$$

ただし、 r は光軸上の曲率半径、 K は円錐係数、 A_4 、 A_6 、 A_8 、 A_{10} はそれぞれ 4 次、6 次、8 次、10 次の非球面係数である。

Example 1

$r_1 = \infty$ (Stop)	$d_1 = 0.1500$	
$r_2 = -6.5436$ (Aspheric)	$d_2 = 1.0517$	$n_{d1} = 1.52542 \quad \nu_{d1} = 55.78$
$r_3 = -0.7168$ (Aspheric)	$d_3 = 0.1000$	
$r_4 = -30.0120$ (Aspheric)	$d_4 = 0.6000$	$n_{d2} = 1.58423 \quad \nu_{d2} = 30.49$
$r_5 = 0.7919$ (Aspheric)	$d_5 = 0.5843$	
$r_6 = 3.9990$ (Aspheric)	$d_6 = 1.2677$	$n_{d3} = 1.52542 \quad \nu_{d3} = 55.78$
$r_7 = -2.9858$ (Aspheric)	$d_7 = 0.5000$	
$r_8 = \infty$	$d_8 = 1.0000$	$n_{d4} = 1.51633 \quad \nu_{d4} = 64.14$
$r_9 = \infty$	$d_9 = 0.3868$	
$r_{10} = \infty$ (Image Plane)		

Aspherical Coefficients

2nd surface

$$K = 16.6569$$

$$A_4 = -2.1175 \times 10^{-1}$$

$$A_6 = 2.4986 \times 10^{-1}$$

$$A_8 = -1.0799$$

$$A_{10} = 6.7759 \times 10^{-1}$$

3rd surface

$$K = -3.0582$$

$$A_4 = -2.0333 \times 10^{-1}$$

$$A_6 = -1.0575 \times 10^{-2}$$

$$A_8 = 3.6568 \times 10^{-2}$$

$$A_{10} = -7.2420 \times 10^{-2}$$

4 th surface

$$K = 0$$

$$A_4 = 2.1456 \times 10^{-2}$$

$$A_6 = -4.1265 \times 10^{-2}$$

$$A_8 = 3.3083 \times 10^{-2}$$

$$A_{10} = -3.5946 \times 10^{-3}$$

5 th surface

$$K = -5.0261$$

$$A_4 = 1.4181 \times 10^{-2}$$

$$A_6 = 1.8308 \times 10^{-2}$$

$$A_8 = -2.1621 \times 10^{-2}$$

$$A_{10} = 7.4684 \times 10^{-3}$$

6 th surface

$$K = 0$$

$$A_4 = -7.3992 \times 10^{-2}$$

$$A_6 = 5.0526 \times 10^{-2}$$

$$A_8 = -1.0842 \times 10^{-2}$$

$$A_{10} = -5.7950 \times 10^{-4}$$

7 th surface

$$K = -6.1449$$

$$A_4 = -1.2884 \times 10^{-2}$$

$$A_6 = -1.7773 \times 10^{-2}$$

$$A_8 = 1.5345 \times 10^{-2}$$

$$A_{10} = -3.1206 \times 10^{-3}$$

Example 2

$r_1 = \infty$ (Stop)	$d_1 = 0.1500$	
$r_2 = -163.0826$ (Aspheric)	$d_2 = 1.2486$	$n_{d1} = 1.71700 \nu_{d1} = 47.90$
$r_3 = -0.8468$ (Aspheric)	$d_3 = 0.1000$	
$r_4 = -7.1595$ (Aspheric)	$d_4 = 0.6000$	$n_{d2} = 1.84666 \nu_{d2} = 23.80$
$r_5 = 1.0846$ (Aspheric)	$d_5 = 0.4862$	
$r_6 = 2.8595$ (Aspheric)	$d_6 = 0.9365$	$n_{d3} = 1.52542 \nu_{d3} = 55.78$
$r_7 = 21.6886$ (Aspheric)	$d_7 = 0.5000$	
$r_8 = \infty$	$d_8 = 0.5000$	$n_{d4} = 1.51633 \nu_{d4} = 64.10$
$r_9 = \infty$	$d_9 = 0.4488$	
$r_{10} = \infty$ (Image Plane)		

Aspherical Coefficients

2nd surface

$$K = 17.3876$$

$$A_4 = -1.6527 \times 10^{-1}$$

$$A_6 = 1.6223 \times 10^{-1}$$

$$A_8 = -7.9356 \times 10^{-1}$$

$$A_{10} = 4.3502 \times 10^{-1}$$

3rd surface

$$K = -3.7934$$

$$A_4 = -1.5515 \times 10^{-1}$$

$$A_6 = -1.2895 \times 10^{-3}$$

$$A_8 = 5.4504 \times 10^{-3}$$

$$A_{10} = -1.9223 \times 10^{-2}$$

4th surface

$$K = 0$$

$$A_4 = 6.7955 \times 10^{-2}$$

$$A_6 = -5.9704 \times 10^{-2}$$

$$A_8 = 3.8965 \times 10^{-2}$$

$$A_{10} = -3.5723 \times 10^{-3}$$

5 th surface

$$K = -8.5753$$

$$A_4 = 2.1750 \times 10^{-2}$$

$$A_6 = 4.8974 \times 10^{-2}$$

$$A_8 = -4.1661 \times 10^{-2}$$

$$A_{10} = 1.8845 \times 10^{-2}$$

6 th surface

$$K = 0$$

$$A_4 = -2.0748 \times 10^{-1}$$

$$A_6 = 1.0850 \times 10^{-1}$$

$$A_8 = -4.7593 \times 10^{-2}$$

$$A_{10} = 5.6268 \times 10^{-3}$$

7 th surface

$$K = -23.8701$$

$$A_4 = -4.0887 \times 10^{-2}$$

$$A_6 = -7.4333 \times 10^{-3}$$

$$A_8 = 7.2471 \times 10^{-3}$$

$$A_{10} = -2.3127 \times 10^{-3}$$

Example 3

$$r_1 = \infty (\text{Stop}) \quad d_1 = 0.1500$$

$$r_2 = -9.6860 \text{ (Aspheric)} \quad d_2 = 1.6384 \quad n_{d1} = 1.52542 \quad \nu_{d1} = 55.78$$

$$r_3 = -0.6937 \text{ (Aspheric)} \quad d_3 = 0.1018$$

$$r_4 = -5.1048 \text{ (Aspheric)} \quad d_4 = 0.6000 \quad n_{d2} = 1.70514 \quad \nu_{d2} = 41.20$$

$$r_5 = 0.8648 \text{ (Aspheric)} \quad d_5 = 0.3762$$

$r_6 =$	6.5333 (Aspheric)	$d_6 =$	1.4299	$n_{d3} =$	1.52542	$\nu_{d3} =$	55.78
$r_7 =$	-1.4995 (Aspheric)	$d_7 =$	1.0000				
$r_8 =$	∞	$d_8 =$	1.0000	$n_{d4} =$	1.51633	$\nu_{d4} =$	64.10
$r_9 =$	∞	$d_9 =$	0.7389				
$r_{10} =$	∞ (Image Plane)						

Aspherical Coefficients

2nd surface

$$K = -59.1814$$

$$A_4 = -1.2120 \times 10^{-1}$$

$$A_6 = 3.1625 \times 10^{-1}$$

$$A_8 = -9.7874 \times 10^{-1}$$

$$A_{10} = 9.8482 \times 10^{-1}$$

3rd surface

$$K = -3.1900$$

$$A_4 = -9.8717 \times 10^{-2}$$

$$A_6 = 2.5463 \times 10^{-3}$$

$$A_8 = -2.6289 \times 10^{-3}$$

$$A_{10} = 7.4538 \times 10^{-3}$$

4th surface

$$K = 12.0804$$

$$A_4 = -2.4281 \times 10^{-2}$$

$$A_6 = -3.1148 \times 10^{-2}$$

$$A_8 = 2.2428 \times 10^{-2}$$

$$A_{10} = 6.2579 \times 10^{-4}$$

5th surface

$$K = -7.2129$$

$$A_4 = -6.7698 \times 10^{-2}$$

$$A_6 = 4.6894 \times 10^{-2}$$

$$A_8 = -1.9662 \times 10^{-2}$$

$$A_{10} = 1.7027 \times 10^{-3}$$

6 th surface

$$K = 0$$

$$A_4 = -9.2594 \times 10^{-2}$$

$$A_6 = 6.9802 \times 10^{-2}$$

$$A_8 = -1.7483 \times 10^{-2}$$

$$A_{10} = -5.7216 \times 10^{-4}$$

7 th surface

$$K = -2.7819$$

$$A_4 = -5.2887 \times 10^{-2}$$

$$A_6 = 6.6560 \times 10^{-4}$$

$$A_8 = 4.8128 \times 10^{-3}$$

$$A_{10} = -5.7750 \times 10^{-4}$$

Example 4

$r_1 = \infty$ (Stop)	$d_1 = 0.1500$	
$r_2 = -12.6294$ (Aspheric)	$d_2 = 1.0730$	$n_{d1} = 1.52542 \quad \nu_{d1} = 55.78$
$r_3 = -0.7143$ (Aspheric)	$d_3 = 0.1409$	
$r_4 = -2.9570$ (Aspheric)	$d_4 = 0.6000$	$n_{d2} = 1.58423 \quad \nu_{d2} = 30.49$
$r_5 = 0.8935$ (Aspheric)	$d_5 = 0.3713$	
$r_6 = 3.3450$ (Aspheric)	$d_6 = 1.3104$	$n_{d3} = 1.52542 \quad \nu_{d3} = 55.78$
$r_7 = -2.1798$ (Aspheric)	$d_7 = 0.5000$	
$r_8 = \infty$	$d_8 = 1.0000$	$n_{d4} = 1.51633 \quad \nu_{d4} = 64.10$
$r_9 = \infty$	$d_9 = 0.6950$	
$r_{10} = \infty$ (Image Plane)		

Aspherical Coefficients

2 nd surface

$$K = 151.6475$$

$$A_4 = -2.1628 \times 10^{-1}$$

$$A_6 = 3.0208 \times 10^{-1}$$

$$A_8 = -1.2104$$

$$A_{10} = 7.1578 \times 10^{-1}$$

3 rd surface

$$K = -2.9151$$

$$A_4 = -2.0522 \times 10^{-1}$$

$$A_6 = -2.2638 \times 10^{-2}$$

$$A_8 = 5.9992 \times 10^{-2}$$

$$A_{10} = -9.5552 \times 10^{-2}$$

4 th surface

$$K = 3.6058$$

$$A_4 = 5.2938 \times 10^{-2}$$

$$A_6 = -4.8469 \times 10^{-2}$$

$$A_8 = 4.4066 \times 10^{-2}$$

$$A_{10} = 2.4170 \times 10^{-3}$$

5 th surface

$$K = -6.2499$$

$$A_4 = -1.9244 \times 10^{-2}$$

$$A_6 = 4.2544 \times 10^{-2}$$

$$A_8 = -3.3552 \times 10^{-2}$$

$$A_{10} = 9.7446 \times 10^{-3}$$

6 th surface

$$K = 0$$

$$A_4 = -1.1018 \times 10^{-1}$$

$$A_6 = 9.8531 \times 10^{-2}$$

$$A_8 = -4.0642 \times 10^{-2}$$

$$A_{10} = 4.6017 \times 10^{-3}$$

7 th surface

$$K = -5.6092$$

$$A_4 = -3.7110 \times 10^{-2}$$

$$A_6 = -1.1639 \times 10^{-4}$$

$$A_8 = 1.0065 \times 10^{-2}$$

$$A_{10} = -3.0086 \times 10^{-3}$$

上記実施例 1 ~ 4 の無限遠にフォーカシングした場合の収差図をそれぞれ図 5 ~ 図 8 に示す。これら収差図において、“S A”は球面収差、“A S”は非点収差、“D T”は歪曲収差、“C C”は倍率色収差を示す。また、各収差図中、“ ω ”は半画角を示す。

次に、上記各実施例における条件 (1) ~ (13) の値を示す。

条件式	実施例 1	実施例 2	実施例 3	実施例 4
(1)	0.95	0.74	0.71	0.54
(2)	0.024	0.12	0.14	0.24
(3)	-0.55	-0.45	-0.42	-0.46
(4)	-1.30	-0.43	-3.30	-1.52
(5)	-0.38	-0.17	-0.41	-0.41
(6)	0.38	1.06	2.51	2.43
(7)	3.06	4.20	1.45	2.90
(8)	18.9 °	30.4 °	15.8 °	20.4 °
(9)	0.44	0.34	0.41	0.42
(10)	0.60	0.47	0.56	0.58
(11)	1.45	2.57	1.03	1.14
(12)	-0.40	-0.33	-0.31	-0.34
(13)	1.05	1.87	0.75	0.83

ここで、第 1 の発明において、像面における最大像高 I_h は、前記のように、

撮像素子の有効撮像領域（略矩形）の対角長Lの2分の1で定義される。そして、撮像領域を規定する手段として視野枠を配する場合は、視野枠対角長Lの2分の1であり、固体撮像素子等の撮像素子を配する場合は、有効撮像領域の対角長Lの2分の1である。

そこで、撮像記録媒体がCCD等の電子撮像素子の場合の有効撮像面（有効撮像領域）の対角長Lと画素間隔aについて説明しておく。図9は、撮像素子の画素配列の1例を示す図であり、画素間隔aでR（赤）、G（緑）、B（青）の画素がモザイク状に配されている。有効撮像面は撮影した映像の再生（パソコン上の表示、プリンターによる印刷等）に用いる撮像素子上の光電変換面内における領域を意味する。図中に示す有効撮像面は、光学系の性能（光学系の性能が確保し得るイメージサークル）に合わせて、撮像素子の全光電変換面よりも狭い領域に設定されている。有効撮像面の対角長Lは、この有効撮像面の対角長である。なお、映像の再生に用いる撮像範囲を種々変更可能としてよいが、そのような機能を有する撮像装置に第1の発明の結像光学系を用いる際は、その有効撮像面の対角長Lが変化する。そのような場合は、第1の発明において最大像高I_hを定義する有効撮像面の対角長Lは、Lの取り得る範囲における最大値とする。

図10は、CCD等の電子撮像素子の撮像面に視野枠を配する場合の視野枠対角長について説明するための図である。CCD等の電子撮像素子に像を形成して撮影する場合、その有効撮影領域は撮像面直前の視野枠の開口によって決定される。ここでも、視野枠の形状の変更は種々行う構成としてよいが、図9の場合と同様に、第1の発明において最大像高I_hを定義する有効撮像面の対角長Lは、Lの取り得る範囲における最大値とする。

なお、以上の第1の発明の実施例において、絞りSの直前にカバーガラスを配置するようにしてもよい。

また、第1の発明の以上の実施例において、プラスチックで構成しているレンズをガラスで構成するようにしてもよい。例えば何れかの実施例のプラスチックより屈折率の高いガラスを用いれば、さらに高性能を達成できるのは言うまでもない。また、特殊低分散ガラスを用いれば、色収差の補正に効果があるのは言う

までもない。特にプラスチックで構成する場合には、低吸湿材料を用いることにより、環境変化による性能劣化が軽減されるので好ましい（例えば、日本ゼオン社のゼオネックス（商品名）等がある）。

また、ゴースト、フレア等の不要光をカットするために、明るさ絞りS以外にフレア絞りF Sを配置してもよい（図1～図4にはその配置例を示す。）。フレア絞りF Sは、上記実施例の明るさ絞りSから第1レンズL 1の間、第1レンズL 1と第2レンズL 2の間、第2レンズL 2と第3レンズL 3の間、第3レンズL 3から像面Iの間の何れの場所に配置してもよい。図1～図4のようにレンズ枠によりフレア光線をカットするように構成してもよいし、フレア絞りF Sを別の部材で構成してもよい。また、光学系に直接印刷しても、塗装しても、シール等を接着しても構わない。また、その形状は、円形、橢円形、矩形、多角形、関数曲線で囲まれる範囲等、いかなる形状でも構わない。また、有害光束をカットするだけでなく、画面周辺のコマフレア等の光束をカットするようにしてよい。

また、各レンズには、反射防止コートを行い、ゴースト、フレアを軽減しても構わない。マルチコートであれば、効果的にゴースト、フレアを軽減できるので望ましい。また、赤外カットコートをレンズ面、カバーガラス等に行ってよい。

また、ピント調節を行うためにフォーカシングを行うようにしてよい。レンズ系全体を繰り出してフォーカスを行ってもよいし、一部のレンズを繰り出すか、若しくは、繰り込みをしてフォーカスするようにしてよい。

また、画像周辺部の明るさ低下をCCDのマイクロレンズをシフトすることにより軽減するようにしてよい。例えば、各像高における光線の入射角に合わせて、CCDのマイクロレンズの設計を変えてよい。また、画像処理により画像周辺部の低下量を補正するようにしてよい。

上記各実施例は小型でありながら、図5～図8の収差図に示すように、良好な画像が得られている。

ところで、以上の各実施例において、前記のように、カバーガラスCGの入射

面側に近赤外シャープカットコートを施してもよい。この近赤外シャープカットコートは、波長 600 nm での透過率が 80 % 以上、波長 700 nm での透過率が 10 % 以下となるように構成する。具体的には、例えば次の表 A ような 27 層の層構成からなる多層膜である。ただし、設計波長は 780 nm である。

表 A

基 板	材質	物理的膜厚 (nm)	$\lambda / 4$
第1層	Al_2O_3	58.96	0.50
第2層	TiO_2	84.19	1.00
第3層	SiO_2	134.14	1.00
第4層	TiO_2	84.19	1.00
第5層	SiO_2	134.14	1.00
第6層	TiO_2	84.19	1.00
第7層	SiO_2	134.14	1.00
第8層	TiO_2	84.19	1.00
第9層	SiO_2	134.14	1.00
第10層	TiO_2	84.19	1.00
第11層	SiO_2	134.14	1.00
第12層	TiO_2	84.19	1.00
第13層	SiO_2	134.14	1.00
第14層	TiO_2	84.19	1.00
第15層	SiO_2	178.41	1.33
第16層	TiO_2	101.03	1.21
第17層	SiO_2	167.67	1.25
第18層	TiO_2	96.82	1.15
第19層	SiO_2	147.55	1.05
第20層	TiO_2	84.19	1.00
第21層	SiO_2	160.97	1.20

第22層	T i O ₂	8 4 . 1 9	1 . 0 0
第23層	S i O ₂	1 5 4 . 2 6	1 . 1 5
第24層	T i O ₂	9 5 . 1 3	1 . 1 3
第25層	S i O ₂	1 6 0 . 9 7	1 . 2 0
第26層	T i O ₂	9 9 . 3 4	1 . 1 8
第27層	S i O ₂	8 7 . 1 9	0 . 6 5

空 気

上記の近赤外シャープカットコートの透過率特性は図11に示す通りである。

また、ローパスフィルターの射出面側には、図12に示すような短波長域の色の透過を低減する色フィルターを設けるか若しくはコーティングを行うことで、より一層電子画像の色再現性を高めている。

具体的には、このフィルター若しくはコーティングにより、波長400nm～700nmで透過率が最も高い波長の透過率に対する420nmの波長の透過率の比が15%以上であり、その最も高い波長の透過率に対する400nmの波長の透過率の比が6%以下であることが好ましい。

それにより、人間の目の色に対する認識と、撮像及び再生される画像の色とのずれを低減させることができる。言い換えると、人間の視覚では認識され難い短波長側の色が、人間の目で容易に認識されることによる画像の劣化を防止することができる。

上記の400nmの波長の透過率の比が6%を越えると、人間の目では認識され難い短波長域が認識し得る波長に再生されてしまい、逆に、上記の420nmの波長の透過率の比が15%よりも小さいと、人間の認識し得る波長域の再生が低くなり、色のバランスが悪くなる。

このような波長を制限する手段は、補色モザイクフィルターを用いた撮像系に

おいてより効果を奏するものである。

上記各実施例では、図12に示すように、波長400nmにおける透過率を0%、420nmにおける透過率を90%、440nmにて透過率のピーク100%となるコーティングとしている。

前記した近赤外シャープカットコートとの作用の掛け合わせにより、波長450nmの透過率99%をピークとして、400nmにおける透過率を0%、420nmにおける透過率を80%、600nmにおける透過率を82%、700nmにおける透過率を2%としている。それにより、より忠実な色再現を行っている。

また、ローパスフィルターは、像面上投影時の方位角度が水平(=0°)と±45°方向にそれぞれ結晶軸を有する3種類のフィルターを光軸方向に重ねて使用することができ、それぞれについて、水平に $a\mu m$ 、±45°方向にそれぞれ $SQRT(1/2) \times a$ だけずらすことで、モアレ抑制を行うことができる。ここで、 $SQRT$ はスクエアルートであり平方根を意味する。

また、CCDの撮像面I上には、図13に示す通り、シアン、マゼンダ、イエロー、グリーン(緑)の4色の色フィルターを撮像画素に対応してモザイク状に設けた補色モザイクフィルターを設けている。これら4種類の色フィルターは、それぞれが略同じ数になるように、かつ、隣り合う画素が同じ種類の色フィルターに対応しないようにモザイク状に配置されている。それにより、より忠実な色再現が可能となる。

補色モザイクフィルターは、具体的には、図13に示すように少なくとも4種類の色フィルターから構成され、その4種類の色フィルターの特性は以下の通りであることが好ましい。

グリーンの色フィルターGは波長 G_P に分光強度のピークを有し、
イエローの色フィルターY。は波長 Y_P に分光強度のピークを有し、
シアンの色フィルターCは波長 C_P に分光強度のピークを有し、
マゼンダの色フィルターMは波長 M_{P1} と M_{P2} にピークを有し、以下の条件を満足する。

$$510 \text{ nm} < G_p < 540 \text{ nm}$$

$$5 \text{ nm} < Y_p - G_p < 35 \text{ nm}$$

$$-100 \text{ nm} < C_p - G_p < -5 \text{ nm}$$

$$430 \text{ nm} < M_{p1} < 480 \text{ nm}$$

$$580 \text{ nm} < M_{p2} < 640 \text{ nm}$$

さらに、グリーン、イエロー、シアンの色フィルターはそれぞれの分光強度のピークに対して波長 530 nm では 80% 以上の強度を有し、マゼンダの色フィルターはその分光強度のピークに対して波長 530 nm では 10% から 50% の強度を有することが、色再現性を高める上でより好ましい。

上記各実施例におけるそれぞれの波長特性の 1 例を図 14 に示す。グリーンの色フィルター G は 525 nm に分光強度のピークを有している。イエローの色フィルター Y_e は 555 nm に分光強度のピークを有している。シアンの色フィルター C は 510 nm に分光強度のピークを有している。マゼンダの色フィルター M は 445 nm と 620 nm にピークを有している。また、530 nm における各色フィルターは、それぞれの分光強度のピークに対して、G は 99%、Y_e は 95%、C は 97%、M は 38% としている。

このような補色フィルターの場合、図示しないコントローラー（若しくは、デジタルカメラに用いられるコントローラー）で、電気的に次のような信号処理を行い、

輝度信号

$$Y = |G + M + Y_e + C| \times 1/4$$

色信号

$$R - Y = |(M + Y_e) - (G + C)|$$

$$B - Y = |(M + C) - (G + Y_e)|$$

の信号処理を経て R (赤)、G (緑)、B (青) の信号に変換される。

ところで、上記した近赤外シャープカットコートの配置位置は、光路上のどの位置であってもよい。また、ローパスフィルターの枚数も 2 枚でも 1 枚でも構わない。

第1の発明の撮像装置において、光量調整のために、明るさ絞りSを複数の絞り羽にて構成し、その開口形状を可変とすることで調整する可変絞りを用いてもよい。図15は、開口時絞り形状の例を示す説明図、図16は、2段絞り時の絞り形状の例を示す説明図である。図15、図16において、OPは光軸、Daは6枚の絞り板、Xa、Xbは開口部を示している。第1の発明においては、絞りの開口形状を開放状態（図15）と、所定の条件を満たすF値となる絞り値（2段絞り、図16）の2種類のみとすることができます。

又は、形状又は透過率の異なる形状固定の複数の明るさ絞りを設けたターレットを用いて、必要な明るさに応じて、何れかの明るさ絞りを結像光学系の物体側光軸上に配置すると、絞り機構の薄型化が図れる。また、そのターレット上に配された複数の明るさ絞りの開口の中の最も光量を低減させる開口に、他の明るさ絞りの透過率よりも低い透過率の光量低減フィルターを配する構成としてもよい。それにより、絞りの開口径を絞り込みすぎることがなくなり、絞りの開口径が小さいことにより発生する回折による結像性能の悪化を抑えることができる。

この場合の1例の構成を示す斜視図を図17に示す。結像光学系の第1正レンズL1の物体側の光軸上の絞りSの位置に、0段、-1段、-2段、-3段、-4段の明るさ調節を可能とするターレット10を配置している。

ターレット10には、0段の調整をする開口形状が最大絞り径の円形で固定の空間からなる開口1A（波長550nmに対する透過率は100%）と、-1段補正するために開口1Aの開口面積の約半分の開口面積を有する開口形状が固定の透明な平行平板（波長550nmに対する透過率は99%）からなる開口1Bと、開口1Bと同じ面積の円形開口部を有し、-2段、-3段、-4段に補正するため、各々波長550nmに対する透過率が50%、25%、13%のNDフィルターが設けられた開口部1C、1D、1Eとを有している。

そして、ターレット10に設けた回転軸11の周りの回動により何れかの開口を絞り位置に配することで光量調節を行っている。

また、図17に示すターレット10に代えて、図18の正面図に示すターレッ

ト 10' を用いることができる。結像光学系の第 1 正レンズ L 1 の物体側の光軸上の絞り S の位置に、0 段、-1 段、-2 段、-3 段、-4 段の明るさ調節を可能とするターレット 10' を配置している。

ターレット 10' には、0 段の調整をする開口形状が最大絞り径の円形で固定の開口 1A' と、-1 段補正するために開口 1A' の開口面積の約半分となる開口面積を有する開口形状が固定の開口 1B' と、さらに開口面積が順に小さくなり、-2 段、-3 段、-4 段に補正するための形状が固定の開口部 1C'、1D'、1E' とを有している。

そして、ターレット 10' に設けた回転軸 11 の周りの回動により何れかの開口を絞り位置に配することで光量調節を行っている。

また、より薄型化のために、明るさ絞り S の開口を、形状、位置共に固定の絞りとし、光量調整は、撮像素子からの出力信号を電気的に調整するようにしもよい。また、レンズ系の他の空間、例えば第 3 正レンズ L 3 と CCD カバーガラス CG の間に ND フィルターを抜き差して光量調整を行う構成としてもよい。図 19 はその 1 例を示す図であり、ターレット 10" の開口 1A" は素通し面又は中空の開口、開口 1B" は透過率 1/2 の ND フィルター、開口 1C" は透過率 1/4 の ND フィルター、開口 1D" は透過率 1/8 の ND フィルター等を設けたターレット状のものを用い、中心の回転軸の周りの回動により何れかの開口を光路中の何れかの位置に配することで光量調節を行っている。

また、光量調節のフィルターとして、光量ムラを抑えるように光量調節が可能なフィルター面を設けてもよい。例えば、暗い被写体に対しては中心部の光量確保を優先して透過率を均一とし、明るい被写体に対してのみ明るさムラを補うように、図 20 に示すように、同心円状に光量が中心程低下するフィルターを配する構成としてもよい。

また、絞り S としては、第 1 正レンズ L 1 の入射面側の周辺部を黒塗りしたものでもよい。

また、第 1 の発明による撮像装置を、カメラ等のように映像を静止画として保存するものとする場合、光量調整のためのシャッターを光路中に配置するとよい

。

そのようなシャッターとしては、CCDの直前に配置したフォーカルプレーンシャッターやロータリーシャッター、液晶シャッターでもよいし、開口絞り自体をシャッターとして構成してもよい。

図21にシャッターの1例を示す。図21に示すものは、フォーカルプレーンシャッターの1つであるロータリーフォーカルプレーンシャッターの例であり、図21(a)は裏面側から見た図、図21(b)は表面側から見た図である。15はシャッター基板であり、像面の直前又は任意の光路位置に配される構成となっている。基板15には、光学系の有効光束を透過する開口部16が設けられている。17はロータリーシャッターモードである。18はロータリーシャッターモード17の回転軸であり、回転軸18は基板15に対して回転し、ロータリーシャッターモード17と一体化されている。回転軸18は基板15の表面のギヤ19、20と連結されている。このギア19、20は図示しないモーターと連結されている。

このような構成において、図示しないモーターの駆動により、ギア19、20、回転軸18を介して、ロータリーシャッターモード17が回転軸18を中心に回転するように構成されている。

このロータリーシャッターモード17は略半円型に構成され、回転により基板15の開口部16の遮蔽と退避を行い、シャッターの役割を果たしている。シャッタースピードはこのロータリーシャッターモード17の回転するスピードを変えることで調整される。

図22(a)～(d)は、ロータリーシャッターモード17が回転する様子を像面側からみた図である。時間を追って図の(a)、(b)、(c)、(d)、(a)の順で移動する。

以上のように、レンズ系の異なる位置に形状が固定の開口絞りSと光量調整を行うフィルターあるいはシャッターを配置することにより、回折の影響を抑えて高画質を保つつつ、フィルターやシャッターにより光量調整が行え、かつ、レンズ系の全長の短縮化も可能とした撮像装置を得ることができる。

また、機械的なシャッターを用いずに、CCDの電気信号の一部を取り出して静止画を得るような電気的な制御で行う構成としてもよい。このような構成の1例を、図23、図24によりCCD撮像の動作を説明しながら説明する。図23は、インターレース式（飛び越し走査式）で信号の順次読み出しを行っているCCD撮像の動作説明図である。図23において、Pa～Pcはフォトダイオードを用いた感光部、Va～VcはCCDによる垂直転送部、HaはCCDによる水平転送部である。Aフィールドは奇数フィールド、Bフィールドは偶数フィールドを示している。

図23の構成では、基本動作が次のように行われる。すなわち、（1）感光部で光による信号電荷の蓄積（光電変換）、（2）感光部から垂直転送部への信号電荷のシフト（フィールドシフト）、（3）垂直転送部での信号電荷の転送（垂直転送）、（4）垂直転送部から水平転送部への信号電荷の転送（ラインシフト）、（5）水平転送部での信号電荷の転送（水平転送）、（6）水平転送部の出力端で信号電荷の検出（検出）。このような順次読み出しは、Aフィールド（奇数フィールド）とBフィールド（偶数フィールド）の何れか一方を用いて行うことができる。

図23のインターレース式（飛び越し走査式）CCD撮像は、TV放送方式やアナログビデオ方式では、AフィールドとBフィールドの蓄積タイミングが1/60ずれている。これをそのままDSC（Digital Spectram Compatibile）用画像としてフレーム画を構成すると、動きのある被写体の場合、二重像のようなブレを起こす。そこで、このタイプのCCD撮像では、A、Bフィールドを同時露光して隣接するフィールドの信号を混合する。そして、機械的なシャッターで露光終了時に湛光した後、AフィールドとBフィールドそれぞれ別々に読み出して信号を合成する方法が取られている。

第1の発明においては、機械的なシャッターの役割をスミア防止用のみとして、Aフィールドのみの順次読み出し、あるいは、A、Bフィールドを同時混合読み出しとすることにより、垂直解像度は低下するが、機械的なシャッターの駆動スピードに左右されず（電子的なシャッターのみでコントロールできるため）、

高速シャッターを切ることができる。図23の例では、垂直転送部のCCDの数が感光部を構成するフォトダイオードの数の半分であるので、小型化しやすいという利点がある。

図24は、信号の順次読み出しをプログレッシブ式で行うCCD撮像の動作説明図である。図24において、Pd～Pfはフォトダイオードを用いた感光部、Vd～VfはCCDによる垂直転送部、HbはCCDによる水平転送部である。

図24においては、画素の並び順に読み出すことができるので、電荷蓄積読み出し作業を全て電子的にコントロールすることが可能となる。したがって、露光時間を(1/10000秒)程度に短くすることができる。図24の例では、図23の場合よりも垂直CCDの数が多く、小型化が困難という不利な点があるが、前記したような利点があるので、第1の発明においては、図23、図24の何れの方式も採用することができる。

さて、以上のような第1の発明の撮像装置は、結像光学系で物体像を形成しその像をCCD等の撮像素子に受光させて撮影を行う撮影装置、とりわけデジタルカメラやビデオカメラ、情報処理装置の例であるパソコン、電話、特に持ち運びに便利な携帯電話等に用いることができる。以下に、その実施形態を例示する。

図25～図27は、第1の発明による結像光学系をデジタルカメラの撮影光学系41に組み込んだ構成の概念図を示す。図25はデジタルカメラ40の外観を示す前方斜視図、図26は同後方斜視図、図27はデジタルカメラ40の構成を示す断面図である。デジタルカメラ40は、この例の場合、撮影用光路42を有する撮影光学系41、ファインダー用光路44を有するファインダー光学系43、シャッター45、フラッシュ46、液晶表示モニター47等を含み、カメラ40の上部に配置されたシャッター45を押圧すると、それに連動して撮影光学系41、例えば実施例1の結像光学系を通して撮影が行われる。撮影光学系41によって形成された物体像が、近赤外カットコートを設けローパスフィルター作用を持たせたカバーガラスCGを介してCCD49の撮像面上に形成される。この

CCD 4 9で受光された物体像は、処理手段 5 1を介し、電子画像としてカメラ背面に設けられた液晶表示モニター 4 7に表示される。また、この処理手段 5 1には記録手段 5 2が接続され、撮影された電子画像を記録することもできる。なお、この記録手段 5 2は処理手段 5 1と別体に設けててもよいし、フロッピーディスクやメモリーカード、MO等により電子的に記録書込を行うように構成してもよい。また、CCD 4 9に代わって銀塩フィルムを配置した銀塩カメラとして構成してもよい。

さらに、ファインダー用光路 4 4上にはファインダー用対物光学系 5 3が配置してある。このファインダー用対物光学系 5 3によって形成された物体像は、像正立部材であるポロプリズム 5 5の視野枠 5 7上に形成される。このポリプリズム 5 5の後方には、正立正像にされた像を観察者眼球 Eに導く接眼光学系 5 9が配置されている。なお、撮影光学系 4 1及びファインダー用対物光学系 5 3の入射側、接眼光学系 5 9の射出側にそれぞれカバー部材 5 0が配置されている。

このように構成されたデジタルカメラ 4 0は、撮影光学系 4 1が高性能で小型であるので、高性能・小型化が実現できる。

なお、図 2 7の例では、カバー部材 5 0として平行平面板を配置しているが、パワーを持ったレンズを用いてもよい。

次に、第1の発明の結像光学系が対物光学系として内蔵された情報処理装置の1例であるパソコンが図 2 6～図 3 0に示される。図 2 6はパソコン 3 0 0のカバーを開いた前方斜視図、図 2 9はパソコン 3 0 0の撮影光学系 3 0 3の断面図、図 3 0は図 2 6の状態の側面図である。図 2 6～図 3 0に示されるように、パソコン 3 0 0は、外部から操作者が情報を入力するためのキーボード 3 0 1と、図示を省略した情報処理手段や記録手段と、情報を操作者に表示するモニター 3 0 2と、操作者自身や周辺の像を撮影するための撮影光学系 3 0 3とを有している。ここで、モニター 3 0 2は、図示しないバックライトにより背面から照明する透過型液晶表示素子や、前面からの光を反射して表示する反射型液晶表示素子や、CRTディスプレイ等であってよい。また、図中、撮影光学系 3 0 3は、モニター 3 0 2の右上に内蔵されているが、その場所に限らず、モニター 3 0 2の

周囲や、キーボード 301 の周囲のどこであってもよい。

この撮影光学系 303 は、撮影光路 304 上に、第 1 の発明による結像光学系（図では略記）からなる対物レンズ 112 と、像を受光する撮像素子チップ 162 を有している。これらはパソコン 300 に内蔵されている。

ここで、撮像素子チップ 162 上にはローパスフィルター作用を持たせたカバーガラス CG が付加的に貼り付けられて撮像ユニット 160 として一体に形成され、対物レンズ 112 の鏡枠 113 の後端にワンタッチで嵌め込まれて取り付け可能になっているため、対物レンズ 112 と撮像素子チップ 162 の中心合わせや面間隔の調整が不要であり、組立が簡単となっている。また、鏡枠 113 の先端には、対物レンズ 112 を保護するためのカバーガラス 114 が配置されている。

撮像素子チップ 162 で受光された物体像は、端子 166 を介して、パソコン 300 の処理手段に入力され、電子画像としてモニター 302 に表示される、図 26 には、その 1 例として、操作者の撮影された画像 305 が示されている。また、この画像 305 は、処理手段を介し、インターネットや電話を介して、遠隔地から通信相手のパソコンに表示されることも可能である。

次に、第 1 の発明の結像光学系が撮影光学系として内蔵された情報処理装置の 1 例である電話、特に持ち運びに便利な携帯電話が図 31 に示される。図 31 (a) は携帯電話 400 の正面図、図 31 (b) は側面図、図 31 (c) は撮影光学系 405 の断面図である。図 31 (a) ~ (c) に示されるように、携帯電話 400 は、操作者の声を情報として入力するマイク部 401 と、通話相手の声を出力するスピーカ部 402 と、操作者が情報を入力する入力ダイアル 403 と、操作者自身や通話相手等の撮影像と電話番号等の情報を表示するモニター 404 と、撮影光学系 405 と、通信電波の送信と受信を行うアンテナ 406 と、画像情報や通信情報、入力信号等の処理を行う処理手段（図示せず）とを有している。ここで、モニター 404 は液晶表示素子である。また、図中、各構成の配置位置は、特にこれらに限られない。この撮影光学系 405 は、撮影光路 407 上に配置された第 1 の発明による結像光学系（図では略記）からなる対物レンズ 11

2と、物体像を受光する撮像素子チップ162とを有している。これらは、携帯電話400に内蔵されている。

ここで、撮像素子チップ162上にはローパスフィルター作用を持たせたカバーガラスCGが付加的に貼り付けられて撮像ユニット160として一体に形成され、対物レンズ112の鏡枠113の後端にワンタッチで嵌め込まれて取り付け可能になっているため、対物レンズ112と撮像素子チップ162の中心合わせや面間隔の調整が不要であり、組立が簡単となっている。また、鏡枠113の先端には、対物レンズ112を保護するためのカバーガラス114が配置されている。

撮影素子チップ162で受光された物体像は、端子166を介して、図示していない処理手段に入力され、電子画像としてモニター404に、又は、通信相手のモニターに、又は、両方に表示される。また、通信相手に画像を送信する場合、撮像素子チップ162で受光された物体像の情報を、送信可能な信号へと変換する信号処理機能が処理手段には含まれている。

なお、以上の各実施例は、前記の特許請求の範囲の構成に合わせて種々変更することができる。

以上の第1の発明により、製造誤差に対する性能劣化が少なく、小型化しても高性能な結像光学系とそれを用いた小型で高性能の撮像装置を得ることができる。

以下に、本発明の第2の発明の結像光学系の実施例1～5について説明する。実施例1～5の無限遠物点合焦時のレンズ断面図をそれぞれ図32～図36に示す。図中、明るさ絞りはS、第1正レンズはL1、第2負レンズはL2、第3正レンズはL3、電子撮像素子のカバーガラスはCG、像面はIで示してある。なお、カバーガラスCGの表面に波長域制限用の多層膜を施してもよい。また、そのカバーガラスCGにローパスフィルター作用を持たせるようにしてもよい。

実施例1の結像光学系は、図32に示すように、物体側から順に、明るさ絞りS、像側に凸面を向けた両面非球面の第1正メニスカスレンズL1、両凹の両面

非球面の第2負レンズL2、両凸の両面非球面の第3正レンズL3、カバーガラスCGから構成されている。本実施例では、第1レンズL1～第3レンズL3は全てプラスチックからなり、第1レンズL1、第3レンズL3はアモルファスピリオレフィン系のゼオネックス（商品名）、第2レンズL2はポリカーボネイトから構成されている。

また、本実施例の仕様は、焦点距離 $f = 3.3\text{ mm}$ 、像高 2.4 mm であり、半画角 $\omega = 36^\circ$ の広角の光学系である。また、各レンズのそれぞれの光学有効径（片側）は、第2面 r_2 ～第7面 r_7 の順に、 0.647 mm , 0.969 mm , 1.146 mm , 1.241 mm , 1.662 mm , 1.920 mm である。

実施例2の結像光学系は、図33に示すように、物体側から順に、明るさ絞りS、像側に凸面を向けた両面非球面の第1正メニスカスレンズL1、物体側に凸面を向けた両面非球面の第2負メニスカスレンズL2、両凸の両面非球面の第3正レンズL3、カバーガラスCGから構成されている。本実施例では、第1レンズL1、第2レンズL2はガラス、第3レンズL3はプラスチックからなり、第3レンズL3はアモルファスピリオレフィン系のゼオネックスから構成されている。

また、本実施例の仕様は、焦点距離 $f = 3.3\text{ mm}$ 、像高 2.4 mm であり、半画角 $\omega = 36^\circ$ の広角の光学系である。また、各レンズのそれぞれの光学有効径（片側）は、第2面 r_2 ～第7面 r_7 の順に、 0.656 mm , 1.142 mm , 1.277 mm , 1.344 mm , 1.527 mm , 1.776 mm である。

実施例3の結像光学系は、図34に示すように、物体側から順に、明るさ絞りS、像側に凸面を向けた両面非球面の第1正メニスカスレンズL1、両凹の両面非球面の第2負レンズL2、両凸の両面非球面の第3正レンズL3、カバーガラスCGから構成されている。本実施例では、第1レンズL1はプラスチック、第2レンズL2、第3レンズL3はガラスからなり、第1レンズL1はアモルファスピリオレフィン系のゼオネックスから構成されている。

また、本実施例の仕様は、焦点距離 $f = 3.3 \text{ mm}$ 、像高 2.4 mm であり、半画角 $\omega = 36^\circ$ の広角の光学系である。また、各レンズのそれぞれの光学有効径（片側）は、第2面 r_2 ~ 第7面 r_7 の順に、 0.674 mm , 1.201 mm , 1.384 mm , 1.692 mm , 1.652 mm , 1.801 mm である。

実施例4の結像光学系は、図35に示すように、物体側から順に、明るさ絞りS、像側に凸面を向けた両面非球面の第1正メニスカスレンズL1、物体側に凸面を向けた両面非球面の第2負メニスカスレンズL2、像側に凸面を向けた両面非球面の第3正レンズL3、カバーガラスCGから構成されている。本実施例では、第1レンズL1～第3レンズL3は全てプラスチックからなり、第1レンズL1、第3レンズL3はアモルファスピリオレフィン系のゼオネックス、第2レンズL2はポリカーボネイトから構成されている。

また、本実施例の仕様は、焦点距離 $f = 3.3 \text{ mm}$ 、像高 2.4 mm であり、半画角 $\omega = 36^\circ$ の広角の光学系である。また、各レンズのそれぞれの光学有効径（片側）は、第2面 r_2 ~ 第7面 r_7 の順に、 0.651 mm , 1.109 mm , 1.330 mm , 1.439 mm , 1.445 mm , 1.717 mm である。

実施例5の結像光学系は、図36に示すように、物体側から順に、明るさ絞りS、像側に凸面を向けた両面非球面の第1正メニスカスレンズL1、物体側に凸面を向けた両面非球面の第2負メニスカスレンズL2、物体側に凸の両面非球面の第3正メニスカスレンズL3、カバーガラスCGから構成されている。本実施例では、第1レンズL1、第2レンズL2はガラス、第3レンズL3はプラスチックからなり、第3レンズL3はアモルファスピリオレフィン系のゼオネックスで構成されている。

また、本実施例の仕様は、焦点距離 $f = 3.3 \text{ mm}$ 、像高 2.4 mm であり、半画角 $\omega = 36^\circ$ の広角の光学系である。また、各レンズのそれぞれの光学有効径（片側）は、第2面 r_2 ~ 第7面 r_7 の順に、 0.630 mm , 0.942 mm , 1.245 mm , 1.202 mm , 1.350 mm , 1.599 mm である。

。

以下に、上記各実施例の数値データを示すが、記号は上記の外、 r_1 、 r_2 …は各レンズ面の曲率半径、 d_1 、 d_2 …は各レンズ面間の間隔、 n_{d1} 、 n_{d2} …は各レンズのd線の屈折率、 ν_{d1} 、 ν_{d2} …は各レンズのアッベ数である。なお、非球面形状は、前記の式(a)に表される。

Example 1

$r_1 = \infty$ (Stop)	$d_1 = 0.1500$	
$r_2 = -7.5279$ (Aspheric)	$d_2 = 1.0750$	$n_{d1} = 1.52542$ $\nu_{d1} = 55.78$
$r_3 = -0.7163$ (Aspheric)	$d_3 = 0.1010$	
$r_4 = -12.1467$ (Aspheric)	$d_4 = 0.6000$	$n_{d2} = 1.58423$ $\nu_{d2} = 30.49$
$r_5 = 0.8291$ (Aspheric)	$d_5 = 0.6439$	
$r_6 = 3.4262$ (Aspheric)	$d_6 = 1.2447$	$n_{d3} = 1.52542$ $\nu_{d3} = 55.78$
$r_7 = -3.5308$ (Aspheric)	$d_7 = 0.5000$	
$r_8 = \infty$	$d_8 = 1.0000$	$n_{d4} = 1.51633$ $\nu_{d4} = 64.10$
$r_9 = \infty$	$d_9 = 0.3259$	
$r_{10} = \infty$ (Image Plane)		

Aspherical Coefficients

2nd surface

$$K = 7.7613$$

$$A_4 = -2.0650 \times 10^{-1}$$

$$A_6 = 2.3824 \times 10^{-1}$$

$$A_8 = -1.1397$$

$$A_{10} = 8.3716 \times 10^{-1}$$

3rd surface

$$K = -2.9922$$

$$A_4 = -1.9180 \times 10^{-1}$$

$$A_6 = -2.0698 \times 10^{-2}$$

$$A_8 = 4.7778 \times 10^{-2}$$

$$A_{10} = -7.0770 \times 10^{-2}$$

4 th surface

$$K = 0$$

$$A_4 = 8.5549 \times 10^{-3}$$

$$A_6 = -3.3173 \times 10^{-3}$$

$$A_8 = 2.0235 \times 10^{-2}$$

$$A_{10} = -4.9724 \times 10^{-3}$$

5 th surface

$$K = -5.4085$$

$$A_4 = -9.8822 \times 10^{-3}$$

$$A_6 = 3.8108 \times 10^{-2}$$

$$A_8 = -2.3110 \times 10^{-2}$$

$$A_{10} = 6.2728 \times 10^{-3}$$

6 th surface

$$K = 0$$

$$A_4 = -6.0997 \times 10^{-2}$$

$$A_6 = 3.5388 \times 10^{-2}$$

$$A_8 = -9.3482 \times 10^{-3}$$

$$A_{10} = 5.1984 \times 10^{-4}$$

7 th surface

$$K = -21.9717$$

$$A_4 = -3.8938 \times 10^{-2}$$

$$A_6 = 1.7109 \times 10^{-2}$$

$$A_8 = -1.2600 \times 10^{-3}$$

$$A_{10} = -4.5069 \times 10^{-4}$$

Example 2

$r_1 = \infty$ (Stop)	$d_1 = 0.1500$	
$r_2 = -5.7501$ (Aspheric)	$d_2 = 1.5214$	$n_{d1} = 1.64000 \nu_{d1} = 60.10$
$r_3 = -0.8591$ (Aspheric)	$d_3 = 0.1000$	
$r_4 = 9.5700$ (Aspheric)	$d_4 = 0.6000$	$n_{d2} = 1.71736 \nu_{d2} = 29.50$
$r_5 = 0.8679$ (Aspheric)	$d_5 = 0.6846$	
$r_6 = 66.8603$ (Aspheric)	$d_6 = 1.2746$	$n_{d3} = 1.52542 \nu_{d3} = 55.78$
$r_7 = -1.9604$ (Aspheric)	$d_7 = 0.2000$	
$r_8 = \infty$	$d_8 = 2.0000$	$n_{d4} = 1.51633 \nu_{d4} = 64.14$
$r_9 = \infty$	$d_9 = 0.1502$	
$r_{10} = \infty$ (Image Plane)		

Aspherical Coefficients

2nd surface

$$K = -81.2346$$

$$A_4 = -1.6822 \times 10^{-1}$$

$$A_6 = 2.5291 \times 10^{-1}$$

$$A_8 = -7.9239 \times 10^{-1}$$

$$A_{10} = 7.2511 \times 10^{-1}$$

3rd surface

$$K = -3.4464$$

$$A_4 = -1.1481 \times 10^{-1}$$

$$A_6 = 1.4273 \times 10^{-2}$$

$$A_8 = -1.9287 \times 10^{-3}$$

$$A_{10} = -2.7564 \times 10^{-3}$$

4th surface

$$K = 0$$

$$A_4 = -3.2122 \times 10^{-2}$$

$$A_6 = -1.4090 \times 10^{-3}$$

$$A_8 = 1.2145 \times 10^{-3}$$

$$A_{10} = 2.2021 \times 10^{-3}$$

5 th surface

$$K = -5.3622$$

$$A_4 = 1.2231 \times 10^{-2}$$

$$A_6 = 5.9299 \times 10^{-3}$$

$$A_8 = -1.3334 \times 10^{-2}$$

$$A_{10} = 4.7568 \times 10^{-3}$$

6 th surface

$$K = 0$$

$$A_4 = -6.4796 \times 10^{-2}$$

$$A_6 = 7.8540 \times 10^{-2}$$

$$A_8 = -2.7986 \times 10^{-2}$$

$$A_{10} = 2.8273 \times 10^{-3}$$

7 th surface

$$K = -2.5423$$

$$A_4 = -2.7889 \times 10^{-2}$$

$$A_6 = -1.9066 \times 10^{-3}$$

$$A_8 = 8.8761 \times 10^{-3}$$

$$A_{10} = -2.0576 \times 10^{-3}$$

Example 3

$$r_1 = \infty (\text{Stop}) \quad d_1 = 0.1500$$

$$r_2 = -11.1500 (\text{Aspheric}) \quad d_2 = 1.7182 \quad n_{d1} = 1.52542 \quad \nu_{d1} = 55.78$$

$$r_3 = -0.7398 (\text{Aspheric}) \quad d_3 = 0.1176$$

$$r_4 = -5.1048 (\text{Aspheric}) \quad d_4 = 0.6000 \quad n_{d2} = 1.70514 \quad \nu_{d2} = 41.20$$

$$r_5 = 0.9630 (\text{Aspheric}) \quad d_5 = 0.4287$$

$$r_6 = 52.7268 (\text{Aspheric}) \quad d_6 = 1.1705 \quad n_{d3} = 1.65156 \quad \nu_{d3} = 56.20$$

$$r_7 = -1.7038 (\text{Aspheric}) \quad d_7 = 1.0000$$

$r_8 = \infty$	$d_8 = 1.5000$	$n_{d4} = 1.51633$	$\nu_{d4} = 64.10$
$r_9 = \infty$	$d_9 = 0.5257$		
$r_{10} = \infty$ (Image Plane)			

Aspherical Coefficients

2nd surface

$$K = 0$$

$$A_4 = -8.5390 \times 10^{-2}$$

$$A_6 = 2.1454 \times 10^{-1}$$

$$A_8 = -6.7874 \times 10^{-1}$$

$$A_{10} = 7.1918 \times 10^{-1}$$

3rd surface

$$K = -3.2699$$

$$A_4 = -9.4083 \times 10^{-2}$$

$$A_6 = 2.1539 \times 10^{-2}$$

$$A_8 = -4.7321 \times 10^{-3}$$

$$A_{10} = 6.1547 \times 10^{-3}$$

4th surface

$$K = 11.3618$$

$$A_4 = -2.5013 \times 10^{-2}$$

$$A_6 = -1.7135 \times 10^{-2}$$

$$A_8 = 2.4028 \times 10^{-2}$$

$$A_{10} = -2.5184 \times 10^{-3}$$

5th surface

$$K = -8.0182$$

$$A_4 = -6.4582 \times 10^{-2}$$

$$A_6 = 4.4917 \times 10^{-2}$$

$$A_8 = -1.8056 \times 10^{-2}$$

$$A_{10} = 1.5135 \times 10^{-3}$$

6 th surface

$$K = 0$$

$$A_4 = -7.2737 \times 10^{-2}$$

$$A_6 = 6.7906 \times 10^{-2}$$

$$A_8 = -1.8897 \times 10^{-2}$$

$$A_{10} = 2.5877 \times 10^{-4}$$

7 th surface

$$K = -2.9885$$

$$A_4 = -4.5662 \times 10^{-2}$$

$$A_6 = 4.2454 \times 10^{-4}$$

$$A_8 = 6.9167 \times 10^{-3}$$

$$A_{10} = -1.1382 \times 10^{-3}$$

Example 4

$r_1 = \infty$ (Stop)	$d_1 = 0.1500$	
$r_2 = -4.6301$ (Aspheric)	$d_2 = 1.4219$	$n_{d1} = 1.52542 \quad \nu_{d1} = 55.78$
$r_3 = -0.7717$ (Aspheric)	$d_3 = 0.1000$	
$r_4 = 14.7558$ (Aspheric)	$d_4 = 0.6000$	$n_{d2} = 1.58423 \quad \nu_{d2} = 30.49$
$r_5 = 0.8247$ (Aspheric)	$d_5 = 0.5796$	
$r_6 = -70.4957$ (Aspheric)	$d_6 = 1.2848$	$n_{d3} = 1.52542 \quad \nu_{d3} = 55.78$
$r_7 = -1.7517$ (Aspheric)	$d_7 = 0.5000$	
$r_8 = \infty$	$d_8 = 1.0000$	$n_{d4} = 1.51633 \quad \nu_{d4} = 64.10$
$r_9 = \infty$	$d_9 = 0.8550$	
$r_{10} = \infty$ (Image Plane)		

Aspherical Coefficients

2 nd surface

$$K = -25.5256$$

$$A_4 = -1.5903 \times 10^{-1}$$

$$A_6 = 2.8109 \times 10^{-1}$$

$$A_8 = -9.4603 \times 10^{-1}$$

$$A_{10} = 9.6575 \times 10^{-1}$$

3 rd surface

$$K = -3.1402$$

$$A_4 = -1.2192 \times 10^{-1}$$

$$A_6 = 5.8307 \times 10^{-3}$$

$$A_8 = 1.2448 \times 10^{-2}$$

$$A_{10} = -7.1920 \times 10^{-3}$$

4 th surface

$$K = 0$$

$$A_4 = -1.6052 \times 10^{-2}$$

$$A_6 = -2.7695 \times 10^{-2}$$

$$A_8 = 2.4775 \times 10^{-2}$$

$$A_{10} = -3.9737 \times 10^{-3}$$

5 th surface

$$K = -5.2890$$

$$A_4 = -6.1415 \times 10^{-3}$$

$$A_6 = 1.9045 \times 10^{-2}$$

$$A_8 = -1.8452 \times 10^{-2}$$

$$A_{10} = 4.8187 \times 10^{-3}$$

6 th surface

$$K = 0$$

$$A_4 = -6.2427 \times 10^{-2}$$

$$A_6 = 7.8799 \times 10^{-2}$$

$$A_8 = -2.5631 \times 10^{-2}$$

$$A_{10} = 6.4222 \times 10^{-5}$$

7 th surface

$K = -1.5765$
 $A_4 = -1.3739 \times 10^{-2}$
 $A_6 = -8.3395 \times 10^{-3}$
 $A_8 = 1.1410 \times 10^{-2}$
 $A_{10} = -2.7793 \times 10^{-3}$

Example 5

$r_1 = \infty$ (Stop)	$d_1 = 0.1500$	
$r_2 = -3.5483$ (Aspheric)	$d_2 = 0.9441$	$n_{d1} = 1.52542 \nu_{d1} = 55.78$
$r_3 = -0.7869$ (Aspheric)	$d_3 = 0.1000$	
$r_4 = 5.1411$ (Aspheric)	$d_4 = 0.6000$	$n_{d2} = 1.58423 \nu_{d2} = 30.49$
$r_5 = 0.8668$ (Aspheric)	$d_5 = 0.5579$	
$r_6 = 2.7069$ (Aspheric)	$d_6 = 0.7310$	$n_{d3} = 1.52542 \nu_{d3} = 55.78$
$r_7 = 40.9062$ (Aspheric)	$d_7 = 0.5000$	
$r_8 = \infty$	$d_8 = 1.0000$	$n_{d4} = 1.51633 \nu_{d4} = 64.10$
$r_{10} = \infty$	$d_9 = 0.5575$	
$r_{10} = \infty$ (Image Plane)		

Aspherical Coefficients

2nd surface

$K = 4.8164$
 $A_4 = -2.0149 \times 10^{-1}$
 $A_6 = 1.6121 \times 10^{-1}$
 $A_8 = -7.0842 \times 10^{-1}$
 $A_{10} = 4.7295 \times 10^{-1}$

3rd surface

$K = -3.2085$
 $A_4 = -1.9378 \times 10^{-1}$
 $A_6 = -1.2206 \times 10^{-2}$

$$A_8 = 8.1481 \times 10^{-2}$$

$$A_{10} = -1.0139 \times 10^{-1}$$

4 th surface

$$K = 0$$

$$A_4 = 5.3097 \times 10^{-2}$$

$$A_6 = 2.9052 \times 10^{-2}$$

$$A_8 = -1.8627 \times 10^{-2}$$

$$A_{10} = 1.7525 \times 10^{-3}$$

5 th surface

$$K = -5.2416$$

$$A_4 = 3.9126 \times 10^{-2}$$

$$A_6 = 3.2573 \times 10^{-2}$$

$$A_8 = 2.9813 \times 10^{-3}$$

$$A_{10} = -7.9290 \times 10^{-3}$$

6 th surface

$$K = 0$$

$$A_4 = -8.4473 \times 10^{-2}$$

$$A_6 = 3.2379 \times 10^{-2}$$

$$A_8 = -1.0481 \times 10^{-2}$$

$$A_{10} = 2.9594 \times 10^{-4}$$

7 th surface

$$K = 0$$

$$A_4 = 1.3909 \times 10^{-2}$$

$$A_6 = -9.6102 \times 10^{-3}$$

$$A_8 = 1.8961 \times 10^{-3}$$

$$A_{10} = -9.8080 \times 10^{-4}$$

上記実施例 1 ~ 5 の無限遠にフォーカシングした場合の収差図をそれぞれ図 3

7～図4-1に示す。これら収差図において、“S A”は球面収差、“A S”は非点収差、“D T”は歪曲収差、“C C”は倍率色収差を示す。また、各収差図中、“ ω ”は半画角を示す。

次に、上記各実施例における条件(21)～(29)の値を示す。

条件式	実施例1	実施例2	実施例3	実施例4	実施例5
(21)	2.35	2.78	2.92	2.71	2.14
(22)	-1.24	-1.86	-3.09	-3.38	-0.99
(23)	0.41	0.39	0.56	0.46	0.31
(24)	-0.37	-0.36	-0.43	-0.45	-0.34
(25)	1.545	1.628	1.627	1.545	1.545
(26)	1.21	1.35	1.14	1.40	1.57
(27)	0.58	1.73	1.97	2.42	1.52
	5.45	4.79	3.19	4.30	6.38
(28)	0.72	1.98	3.90	1.84	1.65
	3.13	2.91	1.40	2.65	3.85
(29)	19.2°	20.0°	16.2°	18.7°	29.8°

(注) 条件式(27)、(28)の数値は、上が物体側の面の数値、下が像側の面の数値である。

上記各実施例は小型でありながら、図3-7～図4-1の収差図に示すように、良好な画像が得られている。

なお、以上の本発明の実施例において、明るさ絞りSの直前にカバーガラスを配置するようにしてもよい。

また、第2の発明の以上の実施例において、プラスチックで構成しているレンズをガラスで構成するようにしてもよい。例えば何れかの実施例のプラスチックより屈折率の高いガラスを用いれば、さらに高性能を達成できるのは言うまでもない。また、特殊低分散ガラスを用いれば、色収差の補正に効果があるのは言うまでもない。特にプラスチックで構成する場合には、低吸湿材料を用いることにより、環境変化による性能劣化が軽減されるので好ましい（例えば、日本ゼオン

社のゼオネックス（商品名）等がある）。

また、ゴースト、フレア等の不要光をカットするために、明るさ絞りS以外にフレア絞りを配置してもよい。以上の実施例において、明るさ絞りSから第1レンズL1間、第1レンズL1と第2レンズL2間、第2レンズL2と第3レンズL3間、第3レンズL3と像面I間の何れの場所にフレア絞りを配置してもよい。また、枠によりフレア光線をカットするように構成してもよいし、別の部材を用いてフレア絞りを構成してもよい。また、光学系に直接印刷しても、塗装しても、シール等を接着しても構わない。また、その形状は、円形、楕円形、矩形、多角形、関数曲線で囲まれる範囲等、いかなる形状でも構わない。また、有害光束をカットするだけでなく、画面周辺のコマフレア等の光束をカットするようにしてもよい。

また、各レンズには、反射防止コートを行い、ゴースト、フレアを軽減しても構わない。マルチコートであれば、効果的にゴースト、フレアを軽減できるので望ましい。また、赤外カットコートをレンズ面、カバーガラス等に行ってもよい。

また、ピント調節を行うためにフォーカシングを行うようにしてもよい。レンズ系全体を繰り出してフォーカスを行ってもよいし、一部のレンズを繰り出すか、若しくは、繰り込みをしてフォーカスするようにしてもよい。

また、画像周辺部の明るさ低下をCCDのマイクロレンズをシフトすることにより軽減するようにしてもよい。例えば、各像高における光線の入射角に合わせて、CCDのマイクロレンズの設計を変えてよい。また、画像処理により画像周辺部の低下量を補正するようにしてもよい。

図42は、上記実施例1の結像光学系5とその像面Iに配置されるCCD6とを、樹脂材で一体成形したレンズ枠7に固定する構成例の、結像光学系5の光軸を含みCCD6の像面Iの対角方向に取った断面図であり、明るさ絞りSは樹脂製のレンズ枠7に一体成形している。このようにすると、結像光学系5を保持するレンズ枠7の製造が容易になる。また、レンズ枠7に明るさ絞りSの構成を一体化させることで、製造工程を大幅に削減し、また、このレンズ枠7自体に撮像

素子のCCD6の保持機能を備えさせることで、レンズ枠7内へごみ等が進入し難くなる。

また、図4-2から明らかなように、結像光学系5の第1正レンズL1、第2負レンズL2、第3正レンズL3の各々の外周8に、物体側程光軸に近づくよう傾斜させた傾斜面を設け、レンズ枠7にその傾斜面を当接して固定可能により、レンズ枠7へ像面側からレンズL1～L3を落とし込んで位置決め固定できるようになる。

また、図4-3に模式的分解斜視図を示すように、プラスチックで成形したレンズ枠7内に保持される結像光学系の第1正レンズL1の形状は、第1正レンズL1、第2負レンズL2は入射側からみて円形、第3正レンズL3は円形のレンズを基に、その上部と下部を切削した小判型の形状をしている。そして、各々のレンズL1～L3の外周8は絞りS側に傾斜している。レンズ枠7の内面もその傾きに対応して傾斜して成形されている。

このように、第1正レンズL1の形状を入射側からみて円形、第3正レンズL3の形状を、入射側から見たときに撮像素子のCCD6の有効撮像領域の短辺方向に対応する方向の長さがその有効撮像領域の長辺方向に対応する長さよりも短いものに構成することにより、結像光学系の第1正レンズL1、第2負レンズL2、第3正レンズL3を有効光束に沿ったレンズ外形にすることができ、ケラレを抑えつつ小型化ができる。なお、この例でも、レンズ枠7内に結像光学系5の第1正レンズL1、第2負レンズL2、第3正レンズL3の各々の外周8の傾斜面を当接して固定させるようにすることで、レンズ枠7内に像面側からレンズL1～L3を落とし込んで位置決め固定できる。

また、明るさ絞りSの開口の周辺面は、図4-2の断面図に示すように、レンズL1側に傾いて構成することが望ましく、その明るさ絞りSの開口の周辺面を、有効光束よりも傾斜角が大きく、実質的に最もレンズ側の角部が絞りの役目をするようにすることで、明るさ絞りSの開口部の外周面で反射した光束が撮像素子のCCD6に入射し難くなり、フレア、ゴーストの影響を低減することが可能になる。

以上の第2の発明の各実施例においても、表Aと図11～図14を参照にして説明した事項は同様に適用できる。また、第2の発明の撮像装置においても、図15～図24を参照にして説明した事項は同様に適用できる。詳細は、第1の発明におけるそれらの説明を参照。

さて、以上のような第2の発明の撮像装置は、結像光学系で物体像を形成しその像をCCD等の撮像素子に受光させて撮影を行う撮影装置、とりわけデジタルカメラやビデオカメラ、情報処理装置の例であるパソコン、電話、特に持ち運びに便利な携帯電話等に用いることができる。以下に、その実施形態を例示する。

図25～図27は、第2の発明による結像光学系をデジタルカメラの撮影光学系41に組み込んだ構成の概念図を示す。図25はデジタルカメラ40の外観を示す前方斜視図、図26は同後方斜視図、図27はデジタルカメラ40の構成を示す断面図である。デジタルカメラ40は、この例の場合、撮影用光路42を有する撮影光学系41、ファインダー用光路44を有するファインダー光学系43、シャッター45、フラッシュ46、液晶表示モニター47等を含み、カメラ40の上部に配置されたシャッター45を押圧すると、それに連動して撮影光学系41、例えば実施例1の結像光学系を通して撮影が行われる。撮影光学系41によって形成された物体像が、近赤外カットコートを設けローパスフィルター作用を持たせたカバーガラスCGを介してCCD49の撮像面上に形成される。このCCD49で受光された物体像は、処理手段51を介し、電子画像としてカメラ背面に設けられた液晶表示モニター47に表示される。また、この処理手段51には記録手段52が接続され、撮影された電子画像を記録することもできる。なお、この記録手段52は処理手段51と別体に設けてもよいし、フロッピーディスクやメモリーカード、MO等により電子的に記録書込を行うように構成してもよい。また、CCD49に代わって銀塩フィルムを配置した銀塩カメラとして構成してもよい。

さらに、ファインダー用光路44上にはファインダー用対物光学系53が配置してある。このファインダー用対物光学系53によって形成された物体像は、像

正立部材であるポロプリズム 5 5 の視野枠 5 7 上に形成される。このポリプリズム 5 5 の後方には、正立正像にされた像を観察者眼球 E に導く接眼光学系 5 9 が配置されている。なお、撮影光学系 4 1 及びファインダー用対物光学系 5 3 の入射側、接眼光学系 5 9 の射出側にそれぞれカバー部材 5 0 が配置されている。

このように構成されたデジタルカメラ 4 0 は、撮影光学系 4 1 が高性能で小型であるので、高性能・小型化が実現できる。

なお、図 2 7 の例では、カバー部材 5 0 として平行平面板を配置しているが、パワーを持ったレンズを用いてもよい。

次に、第 2 の発明の結像光学系が対物光学系として内蔵された情報処理装置の 1 例であるパソコンが図 2 8 ~ 図 3 0 に示される。図 2 8 はパソコン 3 0 0 のカバーを開いた前方斜視図、図 2 9 はパソコン 3 0 0 の撮影光学系 3 0 3 の断面図、図 3 0 は図 2 8 の状態の側面図である。図 2 8 ~ 図 3 0 に示されるように、パソコン 3 0 0 は、外部から操作者が情報を入力するためのキーボード 3 0 1 と、図示を省略した情報処理手段や記録手段と、情報を操作者に表示するモニター 3 0 2 と、操作者自身や周辺の像を撮影するための撮影光学系 3 0 3 とを有している。ここで、モニター 3 0 2 は、図示しないバックライトにより背面から照明する透過型液晶表示素子や、前面からの光を反射して表示する反射型液晶表示素子や、CRT ディスプレイ等であってよい。また、図中、撮影光学系 3 0 3 は、モニター 3 0 2 の右上に内蔵されているが、その場所に限らず、モニター 3 0 2 の周囲や、キーボード 3 0 1 の周囲のどこであってもよい。

この撮影光学系 3 0 3 は、撮影光路 3 0 4 上に、第 2 の発明による結像光学系（図では略記）からなる対物レンズ 1 1 2 と、像を受光する撮像素子チップ 1 6 2 とを有している。これらはパソコン 3 0 0 に内蔵されている。

ここで、撮像素子チップ 1 6 2 上にはローパスフィルター作用を持たせたカバーガラス CG が付加的に貼り付けられて撮像ユニット 1 6 0 として一体に形成され、対物レンズ 1 1 2 の鏡枠 1 1 3 の後端にワンタッチで嵌め込まれて取り付け可能になっているため、対物レンズ 1 1 2 と撮像素子チップ 1 6 2 の中心合わせや面間隔の調整が不要であり、組立が簡単となっている。また、鏡枠 1 1 3 の先

端には、対物レンズ 112 を保護するためのカバーガラス 114 が配置されている。

撮像素子チップ 162 で受光された物体像は、端子 166 を介して、パソコン 300 の処理手段に入力され、電子画像としてモニター 302 に表示される、図 28 には、その 1 例として、操作者の撮影された画像 305 が示されている。また、この画像 305 は、処理手段を介し、インターネットや電話を介して、遠隔地から通信相手のパソコンに表示されることも可能である。

次に、第 2 の発明の結像光学系が撮影光学系として内蔵された情報処理装置の 1 例である電話、特に持ち運びに便利な携帯電話が図 31 に示される。図 31 (a) は携帯電話 400 の正面図、図 31 (b) は側面図、図 31 (c) は撮影光学系 405 の断面図である。図 31 (a) ~ (c) に示されるように、携帯電話 400 は、操作者の声を情報として入力するマイク部 401 と、通話相手の声を出力するスピーカ部 402 と、操作者が情報を入力する入力ダイアル 403 と、操作者自身や通話相手等の撮影像と電話番号等の情報を表示するモニター 404 と、撮影光学系 405 と、通信電波の送信と受信を行うアンテナ 406 と、画像情報や通信情報、入力信号等の処理を行う処理手段（図示せず）とを有している。ここで、モニター 404 は液晶表示素子である。また、図中、各構成の配置位置は、特にこれらに限られない。この撮影光学系 405 は、撮影光路 407 上に配置された第 2 の発明による結像光学系（図では略記）からなる対物レンズ 112 と、物体像を受光する撮像素子チップ 162 とを有している。これらは、携帯電話 400 に内蔵されている。

ここで、撮像素子チップ 162 上にはローパスフィルター作用を持たせたカバーガラス CG が付加的に貼り付けられて撮像ユニット 160 として一体に形成され、対物レンズ 112 の鏡枠 113 の後端にワンタッチで嵌め込まれて取り付け可能になっているため、対物レンズ 112 と撮像素子チップ 162 の中心合わせや面間隔の調整が不要であり、組立が簡単となっている。また、鏡枠 113 の先端には、対物レンズ 112 を保護するためのカバーガラス 114 が配置されている。

撮影素子チップ 162 で受光された物体像は、端子 166 を介して、図示していない処理手段に入力され、電子画像としてモニター 404 に、又は、通信相手のモニターに、又は、両方に表示される。また、通信相手に画像を送信する場合、撮影素子チップ 162 で受光された物体像の情報を、送信可能な信号へと変換する信号処理機能が処理手段には含まれている。

以上の各実施例は、前記の特許請求の範囲の構成に合わせて種々変更することができる。

以上の第 2 の発明の結像光学系及びそれを用いた撮像装置は、例えば次のように構成構成することができる。

[1] 物体側から順に、明るさ絞り、第 1 正レンズ、第 2 負レンズ、第 3 正レンズの順に配置され、次の条件式を満たすことを特徴とする結像光学系。

$$1.5 < d / (f \cdot \tan \theta) < 3.0 \quad \dots \quad (21)$$

ただし、d は結像光学系の明るさ絞り面から像面までの光軸に沿って測った距離、 θ は結像光学系の最大入射角、f は全系の焦点距離である。

[2] 次の条件式を満たすことを特徴とする上記 1 記載の結像光学系。

$$1.8 < d / (f \cdot \tan \theta) < 2.8 \quad \dots \quad (21-1)$$

[3] 物体側から順に、明るさ絞り、像側に凸面を向けた第 1 正メニスカスレンズ、第 2 負レンズ、第 3 正レンズの順に配置され、次の条件式を満たすことを特徴とする結像光学系。

$$-5.0 < f_{2-3} / f < -0.5 \quad \dots \quad (22)$$

ただし、 f_{2-3} は第 2 負レンズと第 3 正レンズの合成焦点距離、f は全系の焦点距離である。

[4] 次の条件式を満たすことを特徴とする上記 3 記載の結像光学系。

$$-3.5 < f_{2-3} / f < -0.8 \quad \dots \quad (22-1)$$

[5] 次の条件式を満たすことを特徴とする上記 1 から 4 の何れか 1 項記載の結像光学系。

$$0.1 < f_1 / f_3 < 0.7 \quad \dots \quad (23)$$

ただし、 f_1 は第 1 正レンズの焦点距離、 f_3 は第 3 正レンズの焦点距離である

〔6〕 次の条件式を満たすことを特徴とする上記5記載の結像光学系。

$$0.2 < f_1 / f_3 < 0.58 \quad \dots \quad (23-1)$$

〔7〕 次の条件式を満たすことを特徴とする上記1から6の何れか1項記載の結像光学系。

$$-0.6 < f_2 / f_3 < -0.1 \quad \dots \quad (24)$$

ただし、 f_2 は第2負レンズの焦点距離、 f_3 は第3正レンズの焦点距離である。

〔8〕 次の条件式を満たすことを特徴とする上記7記載の結像光学系。

$$-0.5 < f_2 / f_3 < -0.15 \quad \dots \quad (24-1)$$

〔9〕 次の条件式を満たすことを特徴とする上記1から8の何れか1項記載の結像光学系。

$$1.45 < n_{avg} < 1.70 \quad \dots \quad (25)$$

ただし、 n_{avg} は第1正レンズ～第3正レンズのd線の屈折率の平均値である。

〔10〕 次の条件式を満たすことを特徴とする上記9記載の結像光学系。

$$1.5 < n_{avg} < 1.65 \quad \dots \quad (25-1)$$

〔11〕 次の条件式を満たすことを特徴とする上記1から10の何れか1項記載の結像光学系。

$$1.0 < (r_{1f} + r_{1r}) / (r_{1f} - r_{1r}) < 1.7 \quad \dots \quad (26)$$

ただし、 r_{1f} は第1正レンズの物体側近軸曲率半径、 r_{1r} は第1正レンズの像側近軸曲率半径である。

〔12〕 次の条件式を満たすことを特徴とする上記11記載の結像光学系。

$$1.1 < (r_{1f} + r_{1r}) / (r_{1f} - r_{1r}) < 1.6 \quad \dots \quad (26-1)$$

〔13〕 第1正レンズは次の条件式を満たす非球面を少なくとも1面有することを特徴とする上記1から12の何れか1項記載の結像光学系。

$$0.01 < |(r_{1s} + r_{1a}) / (r_{1s} - r_{1a}) - 1| < 1.0 \quad \dots (27)$$

ただし、 r_{1s} は第1正レンズの非球面の近軸曲率半径、 r_{1a} は第1正レンズの非球面を考慮した曲率半径の中の光学有効範囲内で近軸曲率半径との差が最も変化したときの値である。

[14] 次の条件式を満たすことを特徴とする上記13記載の結像光学系

。

$$0.05 < |(r_{1s} + r_{1a}) / (r_{1s} - r_{1a}) - 1| < 1.0 \quad \dots (27-1)$$

[15] 第2負レンズは次の条件式を満たす非球面を少なくとも1面有することを特徴とする上記1から14の何れか1項記載の結像光学系。

$$0.01 < |(r_{2s} + r_{2a}) / (r_{2s} - r_{2a}) - 1| < 1.0 \quad \dots (28)$$

ただし、 r_{2s} は第2負レンズの非球面の近軸曲率半径、 r_{2a} は第2負レンズの非球面を考慮した曲率半径の中の光学有効範囲内で近軸曲率半径との差が最も変化したときの値である。

[16] 次の条件式を満たすことを特徴とする上記15記載の結像光学系

。

$$0.1 < |(r_{2s} + r_{2a}) / (r_{2s} - r_{2a}) - 1| < 5 \quad \dots (28-1)$$

[17] 次の条件式を満たすことを特徴とする上記1から8の何れか1項記載の結像光学系。

$$10^\circ < \alpha < 40^\circ \quad \dots (29)$$

ただし、 α は最大像高における主光線の像面への入射角度である。

[18] 次の条件式を満たすことを特徴とする上記17記載の結像光学系

。

$$15^\circ < \alpha < 35^\circ \quad \dots (29-1)$$

[19] 物体側から、明るさ絞り、像側に凸面を向けた第1正レンズ、像

側に凹面を向けた第2負レンズ、第3正レンズの順に配置された結像光学系、及び、その像側に配された撮像素子を有し、前記明るさ絞りは、光軸が通過する開口形状が固定されており、かつ、開口部の外周面を像面側程光軸に近づくように、最軸外光束の入射角以上の傾斜角で傾斜させたことを特徴とする撮像装置。

[20] 物体側から、明るさ絞り、像側に凸面を向けた第1正レンズ、像側に凹面を向けた第2負レンズ、第3正レンズの順に配置された結像光学系、及び、その像側に配された撮像素子を有し、前記結像光学系と前記撮像素子を保持しつつ前記明るさ絞りを同一樹脂材で一体成形したレンズ枠を備えたことを特徴とする撮像装置。

[21] 物体側から、明るさ絞り、像側に凸面を向けた第1正レンズ、像側に凹面を向けた第2負レンズ、第3正レンズの順に配置された結像光学系、及び、その像側に配された撮像素子を有し、前記結像光学系を保持するレンズ枠を備え、少なくとも前記第1正レンズ、第3正レンズの各々の外周に、物体側程光軸に近づくよう傾斜させた傾斜部を設け、前記レンズ枠に前記傾斜部が当接していることを特徴とする撮像装置。

[22] 物体側から、明るさ絞り、像側に凸面を向けた第1正レンズ、像側に凹面を向けた第2負レンズ、第3正レンズの順に配置された結像光学系、及び、その像側に配された撮像素子を有し、前記結像光学系を保持するレンズ枠を備え、前記第1正レンズの形状が入射側から見たときに円形であり、前記第3正レンズの形状が、入射側から見たときに撮像素子の有効撮像領域の短辺方向に対応する方向の長さが有効撮像領域の長辺方向に対応する長さよりも短いことを特徴とする撮像装置。

以上の第2の発明により、全長が短く高性能な広角化にも耐える結像光学系とそれを用いた小型で高性能の撮像装置を得ることができる。

以下に、本発明の第3の発明の結像光学系の実施例1～4について説明する。実施例1～4の無限遠物点合焦時のレンズ断面図をそれぞれ図44～図47に示す。図中、明るさ絞りはS、第1正レンズはL1、第2負レンズはL2、第3正

レンズはL 3、電子撮像素子のカバーガラスはC G、像面はIで示してある。なお、カバーガラスC Gの表面に波長域制限用の多層膜を施してもよい。また、そのカバーガラスC Gにローパスフィルター作用を持たせるようにしてもよい。

実施例1の結像光学系は、図4 4に示すように、物体側から順に、明るさ絞りS、像側に凸面を向けた両面非球面の第1正メニスカスレンズL 1、両凹の両面非球面の第2負レンズL 2、両凸の両面非球面の第3正レンズL 3、カバーガラスC Gから構成されている。本実施例では、第1レンズL 1～第3レンズL 3は全てプラスチックからなり、第1レンズL 1、第3レンズL 3はアモルファスピリオレフィン系のゼオネックス（商品名）、第2レンズL 2はポリカーボネイトから構成されている。

また、本実施例の仕様は、焦点距離 $f = 3.73\text{ mm}$ 、像高 $I h = 2.4\text{ mm}$ であり、半画角 $\omega = 32.7^\circ$ の広角の光学系である。また、各レンズのそれぞれの光学有効径（片側）は、第2面 r_2 ～第7面 r_7 の順に、 0.727 mm , 1.046 mm , 1.208 mm , 1.306 mm , 1.583 mm , 1.817 mm である。

実施例2の結像光学系は、図4 5に示すように、物体側から順に、明るさ絞りS、像側に凸面を向けた両面非球面の第1正メニスカスレンズL 1、物体側に凸面を向けた両面非球面の第2負メニスカスレンズL 2、両凸の両面非球面の第3正レンズL 3、カバーガラスC Gから構成されている。本実施例では、第1レンズL 1～第3レンズL 3は全てプラスチックからなり、第1レンズL 1、第3レンズL 3はアモルファスピリオレフィン系のゼオネックス、第2レンズL 2はポリカーボネイトから構成されている。

また、本実施例の仕様は、焦点距離 $f = 3.3\text{ mm}$ 、像高 $I h = 2.4\text{ mm}$ であり、半画角 $\omega = 36^\circ$ の広角の光学系である。また、各レンズのそれぞれの光学有効径（片側）は、第2面 r_2 ～第7面 r_7 の順に、 0.640 mm , 0.986 mm , 1.226 mm , 1.252 mm , 1.845 mm , 2.053 mm である。

実施例3の結像光学系は、図4 6に示すように、物体側から順に、明るさ絞り

S、像側に凸面を向けた両面非球面の第1正メニスカスレンズL1、両凹の両面非球面の第2負レンズL2、両凸の両面非球面の第3正レンズL3、カバーガラスCGから構成されている。本実施例では、第1レンズL1～第2レンズL2はガラス、第3レンズL3はアモルファスピリオレフィン系のゼオネックスから構成されている。

また、本実施例の仕様は、焦点距離 $f = 3.3\text{ mm}$ 、像高 $I_h = 2.4\text{ mm}$ であり、半画角 $\omega = 36^\circ$ の広角の光学系である。また、各レンズのそれぞれの光学有効径（片側）は、第2面 r_2 ～第7面 r_7 の順に、 0.670 mm , 1.115 mm , 1.145 mm , 1.173 mm , 1.306 mm , 1.607 mm である。

実施例4の結像光学系は、図47に示すように、物体側から順に、明るさ絞りS、像側に凸面を向けた両面非球面の第1正メニスカスレンズL1、両凹の両面非球面の第2負レンズL2、両凸の両面非球面の第3正レンズL3、カバーガラスCGから構成されている。本実施例では、第1レンズL1はプラスチック、第2レンズL2、第3レンズL3はガラスからなり、第1レンズL1はアモルファスピリオレフィン系のゼオネックスから構成されている。

また、本実施例の仕様は、焦点距離 $f = 3.3\text{ mm}$ 、像高 $I_h = 2.4\text{ mm}$ であり、半画角 $\omega = 36^\circ$ の広角の光学系である。また、各レンズのそれぞれの光学有効径（片側）は、第2面 r_2 ～第7面 r_7 の順に、 0.660 mm , 1.098 mm , 1.266 mm , 1.446 mm , 1.464 mm , 1.732 mm である。

以下に、上記各実施例の数値データを示すが、記号は上記の外、 r_1 、 r_2 …は各レンズ面の曲率半径、 d_1 、 d_2 …は各レンズ面間の間隔、 n_{d1} 、 n_{d2} …は各レンズのd線の屈折率、 v_{d1} 、 v_{d2} …は各レンズのアッベ数である。なお、非球面形状は、前記の式(a)に表される。

Example 1

$$r_1 = \infty (\text{Stop}) \quad d_1 = 0.1696$$

$r_2 = -11.0541$ (Aspheric)	$d_2 = 1.1212$	$n_{d1} = 1.52542$	$\nu_{d1} = 55.78$
$r_3 = -0.8354$ (Aspheric)	$d_3 = 0.1144$		
$r_4 = -20.1658$ (Aspheric)	$d_4 = 0.6782$	$n_{d2} = 1.58423$	$\nu_{d2} = 30.49$
$r_5 = 0.8891$ (Aspheric)	$d_5 = 0.5892$		
$r_6 = 3.2644$ (Aspheric)	$d_6 = 1.1603$	$n_{d3} = 1.52542$	$\nu_{d3} = 55.78$
$r_7 = -4.4171$ (Aspheric)	$d_7 = 0.3000$		
$r_8 = \infty$	$d_8 = 2.0000$	$n_{d4} = 1.51633$	$\nu_{d4} = 64.10$
$r_9 = \infty$	$d_9 = 0.2469$		
$r_{10} = \infty$ (Image Plane)			

Aspherical Coefficients

2nd surface

$$K = 20.6298$$

$$A_4 = -1.4605 \times 10^{-1}$$

$$A_6 = 8.1598 \times 10^{-2}$$

$$A_8 = -4.1554 \times 10^{-1}$$

$$A_{10} = 2.6589 \times 10^{-1}$$

3rd surface

$$K = -3.0962$$

$$A_4 = -1.4289 \times 10^{-1}$$

$$A_6 = -1.4452 \times 10^{-2}$$

$$A_8 = 3.5563 \times 10^{-2}$$

$$A_{10} = -3.3357 \times 10^{-2}$$

4th surface

$$K = 0$$

$$A_4 = -3.8125 \times 10^{-3}$$

$$A_6 = 1.7604 \times 10^{-2}$$

$$A_8 = 2.0635 \times 10^{-2}$$

$$A_{10} = -1.2278 \times 10^{-2}$$

5 th surface

$$K = -4.8586$$

$$A_4 = 4.7243 \times 10^{-3}$$

$$A_6 = 1.4633 \times 10^{-2}$$

$$A_8 = 5.7255 \times 10^{-3}$$

$$A_{10} = -4.4597 \times 10^{-3}$$

6 th surface

$$K = 0$$

$$A_4 = -5.0546 \times 10^{-2}$$

$$A_6 = 2.1779 \times 10^{-2}$$

$$A_8 = -6.0043 \times 10^{-3}$$

$$A_{10} = 3.6380 \times 10^{-4}$$

7 th surface

$$K = -27.4772$$

$$A_4 = -1.7730 \times 10^{-2}$$

$$A_6 = 5.1424 \times 10^{-3}$$

$$A_8 = -2.5695 \times 10^{-4}$$

$$A_{10} = -4.1667 \times 10^{-4}$$

Example 2

$r_1 = \infty$ (Stop)	$d_1 = 0.1500$	
$r_2 = -4.4414$ (Aspheric)	$d_2 = 1.0851$	$n_{d1} = 1.52542 \quad \nu_{d1} = 55.78$
$r_3 = -0.7656$ (Aspheric)	$d_3 = 0.1025$	
$r_4 = 7.3594$ (Aspheric)	$d_4 = 0.6000$	$n_{d2} = 1.58423 \quad \nu_{d2} = 30.49$
$r_5 = 0.8221$ (Aspheric)	$d_5 = 0.8483$	
$r_6 = 3.5100$ (Aspheric)	$d_6 = 1.1893$	$n_{d3} = 1.52542 \quad \nu_{d3} = 55.78$
$r_7 = -5.2488$ (Aspheric)	$d_7 = 0.5000$	
$r_8 = \infty$	$d_8 = 1.0000$	$n_{d4} = 1.51633 \quad \nu_{d4} = 64.14$

$r_9 = \infty$ $d_9 = 0.1653$

$r_{10} = \infty$ (Image Plane)

Aspherical Coefficients

2nd surface

$K = -2.6276$

$A_4 = -1.8738 \times 10^{-1}$

$A_6 = 1.9184 \times 10^{-1}$

$A_8 = -8.9468 \times 10^{-1}$

$A_{10} = 7.5040 \times 10^{-1}$

3rd surface

$K = -3.0386$

$A_4 = -1.7124 \times 10^{-1}$

$A_6 = -1.4963 \times 10^{-3}$

$A_8 = 2.4987 \times 10^{-2}$

$A_{10} = -4.2838 \times 10^{-2}$

4th surface

$K = 0$

$A_4 = 5.9413 \times 10^{-3}$

$A_6 = 1.5563 \times 10^{-2}$

$A_8 = -3.3203 \times 10^{-3}$

$A_{10} = 1.6576 \times 10^{-4}$

5th surface

$K = -4.8199$

$A_4 = 1.5380 \times 10^{-2}$

$A_6 = 2.1836 \times 10^{-2}$

$A_8 = -1.2885 \times 10^{-2}$

$A_{10} = 3.1166 \times 10^{-3}$

6th surface

$K = 0$

$$A_4 = -4.6658 \times 10^{-2}$$

$$A_6 = 2.1561 \times 10^{-2}$$

$$A_8 = -4.3006 \times 10^{-3}$$

$$A_{10} = 1.7143 \times 10^{-4}$$

7 th surface

$K = -57.2784$

$$A_4 = -3.2297 \times 10^{-2}$$

$$A_6 = 1.4832 \times 10^{-2}$$

$$A_8 = -1.5028 \times 10^{-3}$$

$$A_{10} = -1.6629 \times 10^{-4}$$

Example 3

$r_1 = \infty$ (Stop)	$d_1 = 0.1500$	
$r_2 = -28.9244$ (Aspheric)	$d_2 = 1.4906$	$n_{d1} = 1.71700 \quad \nu_{d1} = 47.90$
$r_3 = -0.8215$ (Aspheric)	$d_3 = 0.1000$	
$r_4 = -7.1595$ (Aspheric)	$d_4 = 0.6000$	$n_{d2} = 1.84666 \quad \nu_{d2} = 23.80$
$r_5 = 0.9897$ (Aspheric)	$d_5 = 0.4137$	
$r_6 = 3.7363$ (Aspheric)	$d_6 = 0.8851$	$n_{d3} = 1.52542 \quad \nu_{d3} = 55.78$
$r_7 = -5.0481$ (Aspheric)	$d_7 = 0.5000$	
$r_8 = \infty$	$d_8 = 1.0000$	$n_{d4} = 1.51633 \quad \nu_{d4} = 64.10$
$r_9 = \infty$	$d_9 = 0.4010$	
$r_{10} = \infty$ (Image Plane)		

Aspherical Coefficients

2nd surface

$K = 17.3876$

$$A_4 = -1.3148 \times 10^{-1}$$

$$A_6 = 1.8184 \times 10^{-1}$$

$$A_8 = -7.5355 \times 10^{-1}$$

$$A_{10} = 5.6174 \times 10^{-1}$$

3 rd surface

$$K = -3.7592$$

$$A_4 = -1.2454 \times 10^{-1}$$

$$A_6 = 3.7010 \times 10^{-3}$$

$$A_8 = 8.2207 \times 10^{-4}$$

$$A_{10} = -5.9303 \times 10^{-3}$$

4 th surface

$$K = 0$$

$$A_4 = 4.8721 \times 10^{-2}$$

$$A_6 = -6.8012 \times 10^{-2}$$

$$A_8 = 3.9588 \times 10^{-2}$$

$$A_{10} = -4.4794 \times 10^{-3}$$

5 th surface

$$K = -7.7969$$

$$A_4 = 3.9472 \times 10^{-3}$$

$$A_6 = 4.5689 \times 10^{-2}$$

$$A_8 = -4.3324 \times 10^{-2}$$

$$A_{10} = 1.5076 \times 10^{-2}$$

6 th surface

$$K = 0$$

$$A_4 = -1.2224 \times 10^{-1}$$

$$A_6 = 1.0558 \times 10^{-1}$$

$$A_8 = -3.9962 \times 10^{-2}$$

$$A_{10} = 2.0606 \times 10^{-3}$$

7 th surface

$$K = -72.0657$$

$$A_4 = -3.5925 \times 10^{-2}$$

$$A_6 = 1.8804 \times 10^{-2}$$

$$A_8 = -4.8241 \times 10^{-4}$$

$$A_{10} = -1.9351 \times 10^{-3}$$

Example 4

$r_1 = \infty$ (Stop)	$d_1 = 0.1500$	
$r_2 = -8.9282$ (Aspheric)	$d_2 = 1.4402$	$n_{d1} = 1.52542 \quad \nu_{d1} = 55.78$
$r_3 = -0.7917$ (Aspheric)	$d_3 = 0.2808$	
$r_4 = -5.1048$ (Aspheric)	$d_4 = 0.6000$	$n_{d2} = 1.70514 \quad \nu_{d2} = 41.20$
$r_5 = 1.1356$ (Aspheric)	$d_5 = 0.4673$	
$r_6 = 10.6525$ (Aspheric)	$d_6 = 1.2427$	$n_{d3} = 1.65156 \quad \nu_{d3} = 56.20$
$r_7 = -2.0845$ (Aspheric)	$d_7 = 0.7500$	
$r_8 = \infty$	$d_8 = 1.0000$	$n_{d4} = 1.51633 \quad \nu_{d4} = 64.10$
$r_9 = \infty$	$d_9 = 0.4096$	
$r_{10} = \infty$ (Image Plane)		

Aspherical Coefficients

2nd surface

$$K = 0$$

$$A_4 = -1.3190 \times 10^{-1}$$

$$A_6 = 1.2073 \times 10^{-1}$$

$$A_8 = -5.7355 \times 10^{-1}$$

$$A_{10} = 4.7588 \times 10^{-1}$$

3rd surface

$$K = -2.7037$$

$$A_4 = -1.1923 \times 10^{-1}$$

$$A_6 = -1.1957 \times 10^{-2}$$

$$A_8 = 1.2911 \times 10^{-2}$$

$$A_{10} = -1.1746 \times 10^{-2}$$

4 th surface

$$K = 11.3677$$

$$A_4 = 4.2870 \times 10^{-2}$$

$$A_6 = -5.1596 \times 10^{-2}$$

$$A_8 = 2.6728 \times 10^{-2}$$

$$A_{10} = -5.2315 \times 10^{-4}$$

5 th surface

$$K = -8.2739$$

$$A_4 = -1.2967 \times 10^{-2}$$

$$A_6 = 2.5993 \times 10^{-2}$$

$$A_8 = -1.7965 \times 10^{-2}$$

$$A_{10} = 3.9816 \times 10^{-3}$$

6 th surface

$$K = 0$$

$$A_4 = -1.4779 \times 10^{-1}$$

$$A_6 = 1.2039 \times 10^{-1}$$

$$A_8 = -3.6583 \times 10^{-2}$$

$$A_{10} = 2.6587 \times 10^{-3}$$

7 th surface

$$K = -1.0468$$

$$A_4 = -1.7573 \times 10^{-2}$$

$$A_6 = -1.1577 \times 10^{-2}$$

$$A_8 = 1.1866 \times 10^{-2}$$

$$A_{10} = -2.3216 \times 10^{-3}$$

上記実施例 1 ~ 4 の無限遠にフォーカシングした場合の収差図をそれぞれ図 4
8 ~ 図 5 1 に示す。これら収差図において、“S A” は球面収差、“A S” は非

点収差、“D T”は歪曲収差、“C C”は倍率色収差を示す。また、各収差図中、“ ω ”は半画角を示す。

次に、上記各実施例における条件(31)～(39)の値を示す。

条件式	実施例1	実施例2	実施例3	実施例4
(31)	0.44	0.48	0.35	0.47
(32)	1.16	1.42	1.06	1.19
(33)	0.44	0.38	0.27	0.56
(34)	2.61	1.76	1.82	3.33
(35)	-0.60	-0.68	-0.41	-0.53
(36)	-0.08	-0.19	-0.03	-0.13
(37)	0.43	1.30	0.21	0.78
(38)	-5.91	-5.60	-4.90	-4.98
(39)	19.6°	18.7°	29.1°	20.0°

上記各実施例は小型でありながら、図48～図51の収差図に示すように、良好な画像が得られている。

ここで、第3の発明において、像面における最大像高 I_h は、撮像素子の有効撮像領域（略矩形）の対角長 L の2分の1で定義される。そして、撮像領域を規定する手段として視野枠を配する場合は、視野枠対角長 L の2分の1であり、固体撮像素子等の撮像素子を配する場合は、有効撮像領域の対角長 L の2分の1である。

そこで、撮像記録媒体がCCD等の電子撮像素子の場合の有効撮像面（有効撮像領域）の対角長 L と画素間隔 a については、図9～図10を参照にして説明した通りであり、詳細は、第1の発明におけるそれらの説明を参照。

なお、以上の第3の発明の実施例において、明るさ絞りSの直前にカバーガラスを配置するようにしてもよい。

また、第3の発明の以上の実施例において、プラスチックで構成しているレンズをガラスで構成するようにしてもよい。例えば何れかの実施例のプラスチックより屈折率の高いガラスを用いれば、さらに高性能を達成できるのは言うまでも

ない。また、特殊低分散ガラスを用いれば、色収差の補正に効果があるのは言うまでもない。特にプラスチックで構成する場合には、低吸湿材料を用いることにより、環境変化による性能劣化が軽減されるので好ましい（例えば、日本ゼオン社のゼオネックス（商品名）等がある）。

また、ゴースト、フレア等の不要光をカットするために、明るさ絞りS以外にフレア絞りを配置してもよい。以上の実施例において、明るさ絞りSから第1レンズL1間、第1レンズL1と第2レンズL2間、第2レンズL2と第3レンズL3間、第3レンズL3と像面I間の何れの場所にフレア絞りを配置してもよい。また、枠によりフレア光線をカットするように構成してもよいし、別の部材を用いてフレア絞りを構成してもよい。また、光学系に直接印刷しても、塗装しても、シール等を接着しても構わない。また、その形状は、円形、橢円形、矩形、多角形、関数曲線で囲まれる範囲等、いかなる形状でも構わない。また、有害光束をカットするだけでなく、画面周辺のコマフレア等の光束をカットするようにしてもよい。

また、各レンズには、反射防止コートを行い、ゴースト、フレアを軽減しても構わない。マルチコートであれば、効果的にゴースト、フレアを軽減できるので望ましい。また、赤外カットコートをレンズ面、カバーガラス等に行ってもよい。

また、ピント調節を行うためにフォーカシングを行うようにしてもよい。レンズ系全体を繰り出してフォーカスを行ってもよいし、一部のレンズを繰り出すか、若しくは、繰り込みをしてフォーカスするようにしてもよい。

また、画像周辺部の明るさ低下をCCDのマイクロレンズをシフトすることにより軽減するようにしてもよい。例えば、各像高における光線の入射角に合わせて、CCDのマイクロレンズの設計を変えてよい。また、画像処理により画像周辺部の低下量を補正するようにしてもよい。

図52は、上記実施例1の結像光学系5とその像面Iに配置されるCCDユニット6とを、樹脂材で一体成形したレンズ枠7に固定する構成例の、結像光学系5の光軸を含みCCDユニット6の像面Iの対角方向に取った断面図であり、明

るき絞り S は樹脂製のレンズ枠 7 に一体成形している。このようにすると、結像光学系 5 を保持するレンズ枠 7 の製造が容易になる。また、レンズ枠 7 に明るき絞り S の構成を一体化させることで、製造工程を大幅に削減し、また、このレンズ枠 7 自体に撮像素子の CCD を含む CCD ユニット 6 の保持機能を備えさせることで、レンズ枠 7 内へごみ等が進入し難くなる。

また、図 5 2 から明らかなように、結像光学系 5 の第 1 正レンズ L 1 、第 2 負レンズ L 2 、第 3 正レンズ L 3 の各々の外周 8 に、物体側程光軸に近づくよう傾斜させた傾斜面を設け、レンズ枠 7 にその傾斜面を当接して固定可能により、レンズ枠 7 へ像面側からレンズ L 1 ~ L 3 を落とし込んで位置決め固定できるようになる。

なお、図 5 2 において、CCD ユニット 6 のに設けた平行平板 2 1 はその前面 2 3 に赤外カットコートを設けたローパスフィルター、平行平板 2 2 はカバーガラスとしてもよく、あるいは、平行平板 2 1 と平行平板 2 2 を併せて全体で厚さ 2 mm のカバーガラス CG としてもよい。

また、図 5 3 に模式的分解斜視図を示すように、プラスチックで成形したレンズ枠 7 内に保持される結像光学系の第 1 正レンズ L 1 の形状は、第 1 正レンズ L 1 、第 2 負レンズ L 2 は入射側からみて円形、第 3 正レンズ L 3 は円形のレンズを基に、その上部と下部を切削した小判型の形状をしている。そして、各々のレンズ L 1 ~ L 3 の外周 8 は絞り S 側に傾斜している。レンズ枠 7 の内面もその傾きに対応して傾斜して成形されている。

このように、第 1 正レンズ L 1 の形状を入射側からみて円形、第 3 正レンズ L 3 の形状を、入射側から見たときに撮像素子の CCD の有効撮像領域の短辺方向に対応する方向の長さがその有効撮像領域の長辺方向に対応する長さよりも短いものに構成することにより、結像光学系の第 1 正レンズ L 1 、第 2 負レンズ L 2 、第 3 正レンズ L 3 を有効光束に沿ったレンズ外形にすることができ、ケラレを抑えつつ小型化ができる。なお、この例でも、レンズ枠 7 内に結像光学系 5 の第 1 正レンズ L 1 、第 2 負レンズ L 2 、第 3 正レンズ L 3 の各々の外周 8 の傾斜面を当接して固定せらるるようにすることで、レンズ枠 7 内に像面側からレンズ L 1

～L₃を落とし込んで位置決め固定できる。

また、明るさ絞りSの開口の周辺面は、図52の断面図に示すように、レンズL₁側に傾いて構成することが望ましく、その明るさ絞りSの開口の周辺面を、有効光束よりも傾斜角が大きく、実質的に最もレンズ側の角部が絞りの役目をするようにすることで、明るさ絞りSの開口部の外周面で反射した光束が撮像素子のCCDに入射し難くなり、フレア、ゴーストの影響を低減することが可能になる。

以上の第3の発明の各実施例においても、表Aと図11～図14を参照にして説明した事項は同様に適用できる。また、第3の発明の撮像装置においても、図15～図24を参照にして説明した事項は同様に適用できる。詳細は、第1の発明におけるそれらの説明を参照。

さて、以上のような第3の発明の撮像装置は、結像光学系で物体像を形成しその像をCCD等の撮像素子に受光させて撮影を行う撮影装置、とりわけデジタルカメラやビデオカメラ、情報処理装置の例であるパソコン、電話、特に持ち運びに便利な携帯電話等に用いることができる。以下に、その実施形態を例示する。

図25～図27は、第3の発明による結像光学系をデジタルカメラの撮影光学系41に組み込んだ構成の概念図を示す。図25はデジタルカメラ40の外観を示す前方斜視図、図26は同後方斜視図、図27はデジタルカメラ40の構成を示す断面図である。デジタルカメラ40は、この例の場合、撮影用光路42を有する撮影光学系41、ファインダー用光路44を有するファインダー光学系43、シャッター45、フラッシュ46、液晶表示モニター47等を含み、カメラ40の上部に配置されたシャッター45を押圧すると、それに連動して撮影光学系41、例えば実施例1の結像光学系を通して撮影が行われる。撮影光学系41によって形成された物体像が、近赤外カットコートを設けローパスフィルター作用を持たせたカバーガラスCGを介してCCD49の撮像面上に形成される。このCCD49で受光された物体像は、処理手段51を介し、電子画像としてカメラ背面に設けられた液晶表示モニター47に表示される。また、この処理手段51

には記録手段 5 2 が接続され、撮影された電子画像を記録することもできる。なお、この記録手段 5 2 は処理手段 5 1 と別体に設けててもよいし、フロッピーディスクやメモリーカード、MO 等により電子的に記録書込を行うように構成してもよい。また、CCD 4 9 に代わって銀塩フィルムを配置した銀塩カメラとして構成してもよい。

さらに、ファインダー用光路 4 4 上にはファインダー用対物光学系 5 3 が配置してある。このファインダー用対物光学系 5 3 によって形成された物体像は、像正立部材であるポロプリズム 5 5 の視野枠 5 7 上に形成される。このポリプリズム 5 5 の後方には、正立正像にされた像を観察者眼球 E に導く接眼光学系 5 9 が配置されている。なお、撮影光学系 4 1 及びファインダー用対物光学系 5 3 の入射側、接眼光学系 5 9 の射出側にそれぞれカバー部材 5 0 が配置されている。

このように構成されたデジタルカメラ 4 0 は、撮影光学系 4 1 が高性能で小型であるので、高性能・小型化が実現できる。

なお、図 2 7 の例では、カバー部材 5 0 として平行平面板を配置しているが、パワーを持ったレンズを用いてもよい。

次に、第 3 の発明の結像光学系が対物光学系として内蔵された情報処理装置の 1 例であるパソコンが図 2 8 ~ 図 3 0 に示される。図 2 8 はパソコン 3 0 0 のカバーを開いた前方斜視図、図 2 9 はパソコン 3 0 0 の撮影光学系 3 0 3 の断面図、図 3 0 は図 2 8 の状態の側面図である。図 2 8 ~ 図 3 0 に示されるように、パソコン 3 0 0 は、外部から操作者が情報を入力するためのキーボード 3 0 1 と、図示を省略した情報処理手段や記録手段と、情報を操作者に表示するモニター 3 0 2 と、操作者自身や周辺の像を撮影するための撮影光学系 3 0 3 とを有している。ここで、モニター 3 0 2 は、図示しないバックライトにより背面から照明する透過型液晶表示素子や、前面からの光を反射して表示する反射型液晶表示素子や、CRT ディスプレイ等であってよい。また、図中、撮影光学系 3 0 3 は、モニター 3 0 2 の右上に内蔵されているが、その場所に限らず、モニター 3 0 2 の周囲や、キーボード 3 0 1 の周囲のどこであってもよい。

この撮影光学系 3 0 3 は、撮影光路 3 0 4 上に、第 3 の発明による結像光学系

(図では略記) からなる対物レンズ 112 と、像を受光する撮像素子チップ 162 を有している。これらはパソコン 300 に内蔵されている。

ここで、撮像素子チップ 162 上にはローパスフィルター作用を持たせたカバーガラス CG が付加的に貼り付けられて撮像ユニット 160 として一体に形成され、対物レンズ 112 の鏡枠 113 の後端にワンタッチで嵌め込まれて取り付け可能になっているため、対物レンズ 112 と撮像素子チップ 162 の中心合わせや面間隔の調整が不要であり、組立が簡単となっている。また、鏡枠 113 の先端には、対物レンズ 112 を保護するためのカバーガラス 114 が配置されている。

撮像素子チップ 162 で受光された物体像は、端子 166 を介して、パソコン 300 の処理手段に入力され、電子画像としてモニター 302 に表示される、図 28 には、その 1 例として、操作者の撮影された画像 305 が示されている。また、この画像 305 は、処理手段を介し、インターネットや電話を介して、遠隔地から通信相手のパソコンに表示されることも可能である。

次に、第 3 の発明の結像光学系が撮影光学系として内蔵された情報処理装置の 1 例である電話、特に持ち運びに便利な携帯電話が図 31 に示される。図 31 (a) は携帯電話 400 の正面図、図 31 (b) は側面図、図 31 (c) は撮影光学系 405 の断面図である。図 31 (a) ~ (c) に示されるように、携帯電話 400 は、操作者の声を情報として入力するマイク部 401 と、通話相手の声を出力するスピーカ部 402 と、操作者が情報を入力する入力ダイアル 403 と、操作者自身や通話相手等の撮影像と電話番号等の情報を表示するモニター 404 と、撮影光学系 405 と、通信電波の送信と受信を行うアンテナ 406 と、画像情報や通信情報、入力信号等の処理を行う処理手段（図示せず）とを有している。ここで、モニター 404 は液晶表示素子である。また、図中、各構成の配置位置は、特にこれらに限られない。この撮影光学系 405 は、撮影光路 407 上に配置された第 3 の発明による結像光学系（図では略記）からなる対物レンズ 112 と、物体像を受光する撮像素子チップ 162 とを有している。これらは、携帯電話 400 に内蔵されている。

ここで、撮像素子チップ162上にはローパスフィルター作用を持たせたカバーガラスCGが付加的に貼り付けられて撮像ユニット160として一体に形成され、対物レンズ112の鏡枠113の後端にワンタッチで嵌め込まれて取り付け可能になっているため、対物レンズ112と撮像素子チップ162の中心合わせや面間隔の調整が不要であり、組立が簡単となっている。また、鏡枠113の先端には、対物レンズ112を保護するためのカバーガラス114が配置されている。

撮影素子チップ162で受光された物体像は、端子166を介して、図示していない処理手段に入力され、電子画像としてモニター404に、又は、通信相手のモニターに、又は、両方に表示される。また、通信相手に画像を送信する場合、撮像素子チップ162で受光された物体像の情報を、送信可能な信号へと変換する信号処理機能が処理手段には含まれている。

以上の各実施例は、前記の特許請求の範囲の構成に合わせて種々変更することができる。

以上の第3の発明の結像光学系及びそれを用いた撮像装置は、例えば次のように構成構成することができる。

[1] 物体側から順に、明るさ絞り、像側に凸面を向けた第1正メニスカスレンズ、第2負レンズ、第3正レンズの順に配置され、次の条件式を満たすことを特徴とする結像光学系。

$$0.1 < f_1 / f < 0.55 \quad \dots \quad (31)$$

ただし、 f_1 は第1正レンズの焦点距離、 f は全系の焦点距離である。

[2] 次の条件式を満たすことを特徴とする上記1記載の結像光学系。

$$0.2 < f_1 / f < 0.5 \quad \dots \quad (31-1)$$

[3] 物体側から順に、明るさ絞り、像側に凸面を向けた第1正メニスカスレンズ、第2負レンズ、第3正レンズの順に配置され、次の条件式を満たすことを特徴とする結像光学系。

$$1.0 < (r_{1f} + r_{1r}) / (r_{1f} - r_{1r}) < 1.7 \quad \dots \quad (32)$$

ただし、 r_{1f} は第1正レンズの物体側面の光軸上曲率半径、 r_{1r} は第1正レンズ

の像側面の光軸上曲率半径である。

[4] 次の条件式を満たすことを特徴とする上記3記載の結像光学系。

$$1.1 < (r_{1f} + r_{1r}) / (r_{1f} - r_{1r}) < 1.5 \quad \dots \quad (32-1)$$

[5] 上記1から4の何れか1項において、次の条件式を満たすことを特徴とする結像光学系。

$$0.1 < f_1 / f_3 < 0.8 \quad \dots \quad (33)$$

ただし、 f_1 は第1レンズの焦点距離、 f_3 は第3レンズの焦点距離である。

[6] 次の条件式を満たすことを特徴とする上記5記載の結像光学系。

$$0.15 < f_1 / f_3 < 0.7 \quad \dots \quad (33-1)$$

[7] 上記1から6の何れか1項において、次の条件式を満たすことを特徴とする結像光学系。

$$1.0 < f_{1-2} / f < 4.0 \quad \dots \quad (34)$$

ただし、 f_{1-2} は第1レンズ、第2レンズの合成焦点距離、 f は全系の焦点距離である。

[8] 次の条件式を満たすことを特徴とする上記7記載の結像光学系。

$$1.5 < f_{1-2} / f < 2.7 \quad \dots \quad (34-1)$$

[9] 上記1から8の何れか1項において、次の条件式を満たすことを特徴とする結像光学系。

$$-0.75 < f_2 / I_h < -0.1 \quad \dots \quad (35)$$

ただし、 f_2 は第2負レンズの焦点距離、 I_h は最大像高である。

[10] 次の条件式を満たすことを特徴とする上記9記載の結像光学系。

$$-0.65 < f_2 / I_h < -0.25 \quad \dots \quad (35-1)$$

[11] 上記1から10の何れか1項において、次の条件式を満たすことを特徴とする結像光学系。

$$-0.25 < r_{2r} / r_{1f} < -0.01 \quad \dots \quad (36)$$

ただし、 r_{2r} は第2負レンズの像側面の光軸上曲率半径、 r_{1f} は第1正レンズの物体側面の光軸上曲率半径である。

[12] 次の条件式を満たすことを特徴とする上記11記載の結像光学系

$$-0.20 < r_{2r} / r_{1r} < -0.02 \quad \dots \quad (36-1)$$

[13] 上記1から12の何れか1項において、次の条件式を満たすことを特徴とする結像光学系。

$$0.01 < |(r_{1rs} + r_{1ra}) / (r_{1rs} - r_{1ra}) - 1| < 1.00 \quad \dots \quad (37)$$

ただし、 r_{1rs} は第1正レンズの物体側面の光軸上曲率半径、 r_{1ra} は第1正レンズの物体側面の非球面を考慮した曲率半径の中の光学有効範囲内で光軸上曲率半径との差が最も変化したときの値である。

[14] 次の条件式を満たすことを特徴とする上記13記載の結像光学系

$$0.02 < |(r_{1rs} + r_{1ra}) / (r_{1rs} - r_{1ra}) - 1| < 1.0 \quad \dots \quad (37-1)$$

[15] 上記1から14の何れか1項において、次の条件式を満たすことを特徴とする結像光学系。

$$0.01 < |(r_{1rs} + r_{1ra}) / (r_{1rs} - r_{1ra}) - 1| < 1.00 \quad \dots \quad (38)$$

ただし、 r_{1rs} は第1正レンズの像側面の光軸上曲率半径、 r_{1ra} は第1正レンズの像側面の非球面を考慮した曲率半径の中の光学有効範囲内で光軸上曲率半径との差が最も変化したときの値である。

[16] 次の条件式を満たすことを特徴とする上記15記載の結像光学系

$$0.02 < |(r_{1rs} + r_{1ra}) / (r_{1rs} - r_{1ra}) - 1| < 1.0 \quad \dots \quad (38-1)$$

[17] 上記1から16の何れか1項において、次の条件式を満たすことを特徴とする結像光学系。

$$10^\circ < \alpha < 40^\circ \quad \dots \quad (39)$$

ただし、 α は最大像高における主光線の像面への入射角度である。

[18] 次の条件式を満たすことを特徴とする上記17記載の結像光学系

。

$$15^\circ < \alpha < 35^\circ \quad \cdots (39-1)$$

[19] 上記1から18の何れか1項記載の結像光学系と、その像側に配された電子撮像素子を備えたことを特徴とする電子撮像装置。

[20] 半画角が 30° よりも大きく 50° よりも小さいことを特徴とする上記19記載の電子撮像装置。

以上の第3の発明により、高性能で小型な結像光学系とそれを用いた小型で高性能の撮像装置を得ることができる。

以下に、第4の発明の結像光学系の実施例1～5について説明する。実施例1～5の無限遠物点合焦時のレンズ断面図をそれぞれ図54～図58に示す。図中、明るさ絞りはS、第1正レンズはL1、第2負レンズはL2、第3正レンズはL3、電子撮像素子のカバーガラスはCG、像面はIで示してある。なお、カバーガラスCGの表面に波長域制限用の多層膜を施してもよい。また、そのカバーガラスCGにローパスフィルター作用を持たせるようにしてもよい。

実施例1の結像光学系は、図54に示すように、物体側から順に、明るさ絞りS、像側に凸面を向けた両面非球面の第1正メニスカスレンズL1、両凹の両面非球面の第2負レンズL2、両凸の両面非球面の第3正レンズL3、カバーガラスCGから構成されている。本実施例では、第1レンズL1～第3レンズL3は全てプラスチックからなり、第1レンズL1、第3レンズL3はアモルファスピリオレフィン系のゼオネックス（商品名）、第2レンズL2はポリカーボネイトから構成されている。

また、本実施例の仕様は、焦点距離 $f = 3.3\text{ mm}$ 、像高 $Ih = 2.4\text{ mm}$ であり、半画角 $\omega = 36^\circ$ の広角の光学系である。また、各レンズのそれぞれの光学有効径（片側）は、第2面 r_2 ～第7面 r_7 の順に、 0.652 mm , 1.058 mm , 1.238 mm , 1.335 mm , 1.592 mm , 1.844 mm

である。

実施例 2 の結像光学系は、図 5 5 に示すように、物体側から順に、明るさ絞り S、像側に凸面を向けた両面非球面の第 1 正メニスカスレンズ L 1、両凹の両面非球面の第 2 負レンズ L 2、両凸の両面非球面の第 3 正レンズ L 3、カバーガラス C G から構成されている。本実施例では、第 1 レンズ L 1、第 2 レンズ L 2 はプラスチック、第 3 レンズ L 3 はガラスからなり、第 1 レンズ L 1 はアモルファスポリオレフィン系のゼオネックス、第 2 レンズ L 2 はポリカーボネイトから構成されている。

また、本実施例の仕様は、焦点距離 $f = 3.3 \text{ mm}$ 、像高 $I h = 2.4 \text{ mm}$ であり、半画角 $\omega = 36^\circ$ の広角の光学系である。また、各レンズのそれぞれの光学有効径（片側）は、第 2 面 r_2 ~ 第 7 面 r_7 の順に、 0.653 mm , 0.966 mm , 1.129 mm , 1.271 mm , 1.627 mm , 1.871 mm である。

実施例 3 の結像光学系は、図 5 6 に示すように、物体側から順に、明るさ絞り S、像側に凸面を向けた両面非球面の第 1 正メニスカスレンズ L 1、両凹の両面非球面の第 2 負レンズ L 2、両凸の両面非球面の第 3 正レンズ L 3、カバーガラス C G から構成されている。本実施例では、第 1 レンズ L 1 はプラスチック、第 2 レンズ L 2、第 3 レンズ L 3 はガラスからなり、第 1 レンズ L 1 はアモルファスポリオレフィン系のゼオネックスから構成されている。

また、本実施例の仕様は、焦点距離 $f = 3.3 \text{ mm}$ 、像高 $I h = 2.4 \text{ mm}$ であり、半画角 $\omega = 36^\circ$ の広角の光学系である。また、各レンズのそれぞれの光学有効径（片側）は、第 2 面 r_2 ~ 第 7 面 r_7 の順に、 0.669 mm , 1.186 mm , 1.355 mm , 1.629 mm , 1.621 mm , 1.741 mm である。

実施例 4 の結像光学系は、図 5 7 に示すように、物体側から順に、明るさ絞り S、像側に凸面を向けた両面非球面の第 1 正メニスカスレンズ L 1、物体側に凸面を向けた両面非球面の第 2 負メニスカスレンズ L 2、物体側に凸面を向けた両面非球面の第 3 正メニスカスレンズ L 3、カバーガラス C G から構成されている

。本実施例では、第1レンズL1～第3レンズL3は全てプラスチックからなり、第1レンズL1、第3レンズL3はアモルファスポリオレフィン系のゼオネックス、第2レンズL2はポリカーボネイトから構成されている。

また、本実施例の仕様は、焦点距離 $f = 3.3\text{ mm}$ 、像高 $I_h = 2.4\text{ mm}$ であり、半画角 $\omega = 36^\circ$ の広角の光学系である。また、各レンズのそれぞれの光学有効径（片側）は、第2面 r_2 ～第7面 r_7 の順に、 0.635 mm , 1.032 mm , 1.335 mm , 1.249 mm , 1.278 mm , 1.544 mm である。

実施例5の結像光学系は、図58に示すように、物体側から順に、明るさ絞りS、像側に凸面を向けた両面非球面の第1正メニスカスレンズL1、両凹の両面非球面の第2負レンズL2、両凸の両面非球面の第3正レンズL3、カバーガラスCGから構成されている。本実施例では、第1レンズL1～第3レンズL3は全てプラスチックからなり、第1レンズL1、第3レンズL3はアモルファスポリオレフィン系のゼオネックス、第2レンズL2はポリカーボネイトから構成されている。

また、本実施例の仕様は、焦点距離 $f = 3.3\text{ mm}$ 、像高 $I_h = 2.4\text{ mm}$ であり、半画角 $\omega = 36^\circ$ の広角の光学系である。また、各レンズのそれぞれの光学有効径（片側）は、第2面 r_2 ～第7面 r_7 の順に、 0.634 mm , 0.947 mm , 1.179 mm , 1.285 mm , 1.461 mm , 1.749 mm である。

以下に、上記各実施例の数値データを示すが、記号は上記の外、 r_1 、 r_2 …は各レンズ面の曲率半径、 d_1 、 d_2 …は各レンズ面間の間隔、 n_{d1} 、 n_{d2} …は各レンズのd線の屈折率、 ν_{d1} 、 ν_{d2} …は各レンズのアッベ数である。なお、非球面形状は、前記の式(a)に表される。

Example 1

$$\begin{aligned} r_1 &= \infty (\text{Stop}) & d_1 &= 0.1500 \\ r_2 &= -6.6854 (\text{Aspheric}) & d_2 &= 1.3215 & n_{d1} &= 1.52542 & \nu_{d1} &= 55.78 \end{aligned}$$

$r_3 = -0.7303$ (Aspheric)	$d_3 = 0.1459$	
$r_4 = -30.0120$ (Aspheric)	$d_4 = 0.6000$	$n_{d2} = 1.58423 \quad \nu_{d2} = 30.49$
$r_5 = 0.7826$ (Aspheric)	$d_5 = 0.6381$	
$r_6 = 3.0717$ (Aspheric)	$d_6 = 1.1734$	$n_{d3} = 1.52542 \quad \nu_{d3} = 55.78$
$r_7 = -3.9927$ (Aspheric)	$d_7 = 0.5000$	
$r_8 = \infty$	$d_8 = 1.0000$	$n_{d4} = 1.51633 \quad \nu_{d4} = 64.10$
$r_9 = \infty$	$d_9 = 0.2812$	
$r_{10} = \infty$ (Image Plane)		

Aspherical Coefficients

2nd surface

$$K = -27.8001$$

$$A_4 = -1.7921 \times 10^{-1}$$

$$A_6 = 2.8337 \times 10^{-1}$$

$$A_8 = -1.0853$$

$$A_{10} = 8.9415 \times 10^{-1}$$

3rd surface

$$K = -2.9582$$

$$A_4 = -1.4120 \times 10^{-1}$$

$$A_6 = 2.7136 \times 10^{-3}$$

$$A_8 = -3.8084 \times 10^{-3}$$

$$A_{10} = -1.4846 \times 10^{-2}$$

4th surface

$$K = 0$$

$$A_4 = 3.3297 \times 10^{-2}$$

$$A_6 = -3.4902 \times 10^{-2}$$

$$A_8 = 1.8527 \times 10^{-2}$$

$$A_{10} = -2.0576 \times 10^{-3}$$

5th surface

$K = -4.8798$
 $A_4 = -1.8292 \times 10^{-2}$
 $A_6 = 4.0871 \times 10^{-2}$
 $A_8 = -2.4150 \times 10^{-2}$
 $A_{10} = 5.4240 \times 10^{-3}$

6 th surface

$K = 0$
 $A_4 = -7.1823 \times 10^{-2}$
 $A_6 = 2.6857 \times 10^{-2}$
 $A_8 = -4.1832 \times 10^{-3}$
 $A_{10} = -4.5583 \times 10^{-4}$

7 th surface

$K = -35.0647$
 $A_4 = -4.3006 \times 10^{-2}$
 $A_6 = 1.6318 \times 10^{-2}$
 $A_8 = -1.5380 \times 10^{-3}$
 $A_{10} = -4.1595 \times 10^{-4}$

Example 2

$r_1 = \infty$ (Stop)	$d_1 = 0.1500$	
$r_2 = -11.2515$ (Aspheric)	$d_2 = 1.0585$	$n_{d1} = 1.52542 \nu_{d1} = 55.78$
$r_3 = -0.7488$ (Aspheric)	$d_3 = 0.1029$	
$r_4 = -10.6642$ (Aspheric)	$d_4 = 0.6000$	$n_{d2} = 1.58423 \nu_{d2} = 30.49$
$r_5 = 0.8605$ (Aspheric)	$d_5 = 0.6195$	
$r_6 = 4.8797$ (Aspheric)	$d_6 = 1.1406$	$n_{d3} = 1.65160 \nu_{d3} = 58.50$
$r_7 = -3.7876$ (Aspheric)	$d_7 = 0.5000$	
$r_8 = \infty$	$d_8 = 1.0000$	$n_{d4} = 1.51633 \nu_{d4} = 64.10$
$r_9 = \infty$	$d_9 = 0.4690$	

$r_{10} = \infty$ (Image Plane)

Aspherical Coefficients

2nd surface

$$K = 2.0583$$

$$A_4 = -1.9830 \times 10^{-1}$$

$$A_6 = 1.8892 \times 10^{-1}$$

$$A_8 = -9.9116 \times 10^{-1}$$

$$A_{10} = 7.9724 \times 10^{-1}$$

3rd surface

$$K = -3.0167$$

$$A_4 = -1.8704 \times 10^{-1}$$

$$A_6 = -3.0791 \times 10^{-2}$$

$$A_8 = 8.4573 \times 10^{-2}$$

$$A_{10} = -9.1810 \times 10^{-2}$$

4th surface

$$K = 0$$

$$A_4 = -2.2863 \times 10^{-2}$$

$$A_6 = 5.3472 \times 10^{-2}$$

$$A_8 = 2.1013 \times 10^{-3}$$

$$A_{10} = -1.1119 \times 10^{-2}$$

5th surface

$$K = -5.5091$$

$$A_4 = -5.6563 \times 10^{-3}$$

$$A_6 = 3.3297 \times 10^{-2}$$

$$A_8 = -6.8881 \times 10^{-3}$$

$$A_{10} = -1.7940 \times 10^{-3}$$

6th surface

$$K = 0$$

$$A_4 = -4.4850 \times 10^{-2}$$

$$A_6 = 2.5395 \times 10^{-2}$$

$$A_8 = -7.4272 \times 10^{-3}$$

$$A_{10} = 6.7279 \times 10^{-4}$$

7 th surface

$$K = -21.8659$$

$$A_4 = -3.2435 \times 10^{-2}$$

$$A_6 = 1.3768 \times 10^{-2}$$

$$A_8 = -2.4795 \times 10^{-3}$$

$$A_{10} = -8.2440 \times 10^{-5}$$

Example 3

$r_1 = \infty$ (Stop)	$d_1 = 0.1500$	
$r_2 = -9.6637$ (Aspheric)	$d_2 = 1.7096$	$n_{d1} = 1.52542 \quad \nu_{d1} = 55.78$
$r_3 = -0.7070$ (Aspheric)	$d_3 = 0.1410$	
$r_4 = -5.3549$ (Aspheric)	$d_4 = 0.6000$	$n_{d2} = 1.70514 \quad \nu_{d2} = 41.20$
$r_5 = 0.9397$ (Aspheric)	$d_5 = 0.5132$	
$r_6 = 8.2853$ (Aspheric)	$d_6 = 1.0344$	$n_{d3} = 1.58913 \quad \nu_{d3} = 61.20$
$r_7 = -1.9020$ (Aspheric)	$d_7 = 0.5000$	
$r_8 = \infty$	$d_8 = 2.0000$	$n_{d4} = 1.51633 \quad \nu_{d4} = 64.14$
$r_9 = \infty$	$d_9 = 0.3328$	
$r_{10} = \infty$ (Image Plane)		

Aspherical Coefficients

2nd surface

$$K = 0$$

$$A_4 = -9.9322 \times 10^{-2}$$

$$A_6 = 2.1958 \times 10^{-1}$$

$$A_8 = -7.8548 \times 10^{-1}$$

$$A_{10} = 8.3313 \times 10^{-1}$$

3 rd surface

$$K = -3.2352$$

$$A_4 = -1.3113 \times 10^{-1}$$

$$A_6 = 5.7473 \times 10^{-2}$$

$$A_8 = -3.8798 \times 10^{-2}$$

$$A_{10} = 1.4136 \times 10^{-2}$$

4 th surface

$$K = 12.4633$$

$$A_4 = 1.7636 \times 10^{-2}$$

$$A_6 = -5.3676 \times 10^{-2}$$

$$A_8 = 3.4664 \times 10^{-2}$$

$$A_{10} = -4.4294 \times 10^{-3}$$

5 th surface

$$K = -8.4376$$

$$A_4 = -6.5555 \times 10^{-2}$$

$$A_6 = 4.5259 \times 10^{-2}$$

$$A_8 = -2.4528 \times 10^{-2}$$

$$A_{10} = 3.5103 \times 10^{-3}$$

6 th surface

$$K = 0$$

$$A_4 = -1.5802 \times 10^{-1}$$

$$A_6 = 1.2860 \times 10^{-1}$$

$$A_8 = -3.9408 \times 10^{-2}$$

$$A_{10} = 3.1658 \times 10^{-3}$$

7 th surface

$$K = -2.5549$$

$$A_4 = -3.2613 \times 10^{-2}$$

$$A_6 = -2.0838 \times 10^{-2}$$

$$A_8 = 2.3457 \times 10^{-2}$$

$$A_{10} = -4.0787 \times 10^{-3}$$

Example 4

$r_1 = \infty$ (Stop)	$d_1 = 0.1500$	
$r_2 = -3.7560$ (Aspheric)	$d_2 = 1.1970$	$n_{d1} = 1.52542 \quad \nu_{d1} = 55.78$
$r_3 = -0.7727$ (Aspheric)	$d_3 = 0.1000$	
$r_4 = 6.2100$ (Aspheric)	$d_4 = 0.6000$	$n_{d2} = 1.58423 \quad \nu_{d2} = 30.49$
$r_5 = 0.9511$ (Aspheric)	$d_5 = 0.5038$	
$r_6 = 4.5116$ (Aspheric)	$d_6 = 0.7107$	$n_{d3} = 1.52542 \quad \nu_{d3} = 55.78$
$r_7 = 29.5761$ (Aspheric)	$d_7 = 0.7000$	
$r_8 = \infty$	$d_8 = 1.0000$	$n_{d4} = 1.51633 \quad \nu_{d4} = 64.14$
$r_{10} = \infty$	$d_9 = 0.3371$	
$r_{10} = \infty$ (Image Plane)		

Aspherical Coefficients

2nd surface

$$K = 1.8547$$

$$A_4 = -1.9182 \times 10^{-1}$$

$$A_6 = 1.5418 \times 10^{-1}$$

$$A_8 = -6.5395 \times 10^{-1}$$

$$A_{10} = 5.0643 \times 10^{-1}$$

3rd surface

$$K = -2.9572$$

$$A_4 = -1.5178 \times 10^{-1}$$

$$A_6 = -1.5283 \times 10^{-2}$$

$$A_8 = 5.6949 \times 10^{-2}$$

$$A_{10} = -5.1828 \times 10^{-2}$$

4 th surface

$$K = 0$$

$$A_4 = 5.6577 \times 10^{-2}$$

$$A_6 = 3.2526 \times 10^{-2}$$

$$A_8 = -1.9586 \times 10^{-2}$$

$$A_{10} = 2.2295 \times 10^{-3}$$

5 th surface

$$K = -6.2752$$

$$A_4 = 4.2023 \times 10^{-2}$$

$$A_6 = 4.1358 \times 10^{-2}$$

$$A_8 = 4.5499 \times 10^{-3}$$

$$A_{10} = -9.1887 \times 10^{-3}$$

6 th surface

$$K = 0$$

$$A_4 = -3.9926 \times 10^{-2}$$

$$A_6 = 3.5414 \times 10^{-2}$$

$$A_8 = -1.9119 \times 10^{-2}$$

$$A_{10} = 2.5213 \times 10^{-3}$$

7 th surface

$$K = 0$$

$$A_4 = 4.4096 \times 10^{-2}$$

$$A_6 = -1.3953 \times 10^{-2}$$

$$A_8 = -1.1535 \times 10^{-3}$$

$$A_{10} = -1.3319 \times 10^{-4}$$

Example 5

$$r_1 = \infty (\text{Stop}) \quad d_1 = 0.1500$$

$$r_2 = -4.2723 (\text{Aspheric}) \quad d_2 = 0.9859 \quad n_{d1} = 1.52542 \quad \nu_{d1} = 55.78$$

$r_3 = -0.7970$ (Aspheric)	$d_3 = 0.2057$	
$r_4 = -20.1610$ (Aspheric)	$d_4 = 0.6000$	$n_{d2} = 1.58423 \nu_{d2} = 30.49$
$r_5 = 0.9497$ (Aspheric)	$d_5 = 0.4803$	
$r_6 = 4.6739$ (Aspheric)	$d_6 = 1.2757$	$n_{d3} = 1.52542 \nu_{d3} = 55.78$
$r_7 = -2.3387$ (Aspheric)	$d_7 = 1.0000$	
$r_8 = \infty$	$d_8 = 1.0000$	$n_{d4} = 1.51633 \nu_{d4} = 64.10$
$r_9 = \infty$	$d_9 = 0.1430$	
$r_{10} = \infty$ (Image Plane)		

Aspherical Coefficients

2nd surface

$$K = 22.5176$$

$$A_4 = -1.8700 \times 10^{-1}$$

$$A_6 = 2.8089 \times 10^{-1}$$

$$A_8 = -1.1438$$

$$A_{10} = 9.2846 \times 10^{-1}$$

3rd surface

$$K = -2.5781$$

$$A_4 = -1.5623 \times 10^{-1}$$

$$A_6 = -7.6367 \times 10^{-2}$$

$$A_8 = 9.3334 \times 10^{-2}$$

$$A_{10} = -8.7816 \times 10^{-2}$$

4th surface

$$K = 0$$

$$A_4 = -5.1907 \times 10^{-3}$$

$$A_6 = 8.8894 \times 10^{-4}$$

$$A_8 = 1.7568 \times 10^{-2}$$

$$A_{10} = -3.6261 \times 10^{-3}$$

5th surface

$K = -5.2062$
 $A_4 = 4.3573 \times 10^{-3}$
 $A_6 = 1.1495 \times 10^{-2}$
 $A_8 = -1.2427 \times 10^{-2}$
 $A_{10} = 4.9772 \times 10^{-3}$

6 th surface

$K = 0$
 $A_4 = -4.4377 \times 10^{-2}$
 $A_6 = 4.4915 \times 10^{-2}$
 $A_8 = -1.6658 \times 10^{-2}$
 $A_{10} = 8.7133 \times 10^{-4}$

7 th surface

$K = -5.5015$
 $A_4 = -2.6667 \times 10^{-2}$
 $A_6 = 5.1523 \times 10^{-3}$
 $A_8 = 5.8435 \times 10^{-3}$
 $A_{10} = -2.1188 \times 10^{-3}$

上記実施例 1 ~ 5 の無限遠にフォーカシングした場合の収差図をそれぞれ図 5
9 ~ 図 6 3 に示す。これら収差図において、“S A”は球面収差、“A S”は非
点収差、“D T”は歪曲収差、“C C”は倍率色収差を示す。また、各収差図中
、“ ω ”は半画角を示す。

次に、上記各実施例における条件 (41) ~ (51) の値を示す。

条件式	実施例 1	実施例 2	実施例 3	実施例 4	実施例 5
(41)	-0.37	-0.39	-0.40	-0.20	-0.49
(42)	-0.13	0.13	0.63	-1.36	0.33
(43)	0.46	0.44	0.17	0.77	0.34
(44)	0.25	0.18	0.11	0.21	0.20

(45)	0.18	0.20	0.37	-0.026	0.34
(46)	1.5254	1.6516	1.5891	1.5254	1.5254
(47)	1.25	1.14	1.16	1.52	1.46
(48)	-0.54	-0.56	-0.45	-0.82	-0.64
(49)	2.68	3.82	2.12	5.18	6.12
(50)	7.61	24.86	3.90	7.55	9.10
(51)	20.0°	19.2°	20.0°	33.0°	20.0°

上記各実施例は小型でありながら、図59～図63の収差図に示すように、良好な画像が得られている。

ここで、第4の発明において、像面における最大像高 I_h は、撮像素子の有効撮像領域（略矩形）の対角長 L の2分の1で定義される。そして、撮像領域を規定する手段として視野枠を配する場合は、視野枠対角長 L の2分の1であり、固体撮像素子等の撮像素子を配する場合は、有効撮像領域の対角長 L の2分の1である。

そこで、撮像記録媒体がCCD等の電子撮像素子の場合の有効撮像面（有効撮像領域）の対角長 L と画素間隔 a については、図9～図10を参照にして説明した通りであり、詳細は、第1の発明におけるそれらの説明を参照。

なお、以上の第4の発明の実施例において、明るさ絞りSの直前にカバーガラスを配置するようにしてもよい。

また、第4の発明の以上の実施例において、プラスチックで構成しているレンズをガラスで構成するようにしてもよい。例えば何れかの実施例のプラスチックより屈折率の高いガラスを用いれば、さらに高性能を達成できるのは言うまでもない。また、特殊低分散ガラスを用いれば、色収差の補正に効果があるのは言うまでもない。特にプラスチックで構成する場合には、低吸湿材料を用いることにより、環境変化による性能劣化が軽減されるので好ましい（例えば、日本ゼオン社のゼオネックス（商品名）等がある）。

また、ゴースト、フレア等の不要光をカットするために、明るさ絞りS以外にフレア絞りを配置してもよい。以上の実施例において、明るさ絞りSから第1レ

ンズL1間、第1レンズL1と第2レンズL2間、第2レンズL2と第3レンズL3間、第3レンズL3と像面I間の何れの場所にフレア絞りを配置してもよい。また、枠によりフレア光線をカットするように構成してもよいし、別の部材を用いてフレア絞りを構成してもよい。また、光学系に直接印刷しても、塗装しても、シール等を接着しても構わない。また、その形状は、円形、楕円形、矩形、多角形、関数曲線で囲まれる範囲等、いかなる形状でも構わない。また、有害光束をカットするだけでなく、画面周辺のコマフレア等の光束をカットするようにしてもよい。

また、各レンズには、反射防止コートを行い、ゴースト、フレアを軽減しても構わない。マルチコートであれば、効果的にゴースト、フレアを軽減できるので望ましい。また、赤外カットコートをレンズ面、カバーガラス等に行ってもよい。

また、ピント調節を行うためにフォーカシングを行うようにしてもよい。レンズ系全体を繰り出してフォーカスを行ってもよいし、一部のレンズを繰り出すか、若しくは、繰り込みをしてフォーカスするようにしてもよい。

また、画像周辺部の明るさ低下をCCDのマイクロレンズをシフトすることにより軽減するようにしてもよい。例えば、各像高における光線の入射角に合わせて、CCDのマイクロレンズの設計を変えてよい。また、画像処理により画像周辺部の低下量を補正するようにしてもよい。

図42は、上記実施例1の結像光学系5とその像面Iに配置されるCCD6と、樹脂材で一体成形したレンズ枠7に固定する構成例の、結像光学系5の光軸を含みCCD6の像面Iの対角方向に取った断面図であり、明るさ絞りSは樹脂製のレンズ枠7に一体成形している。このようにすると、結像光学系5を保持するレンズ枠7の製造が容易になる。また、レンズ枠7に明るさ絞りSの構成を一体化させることで、製造工程を大幅に削減し、また、このレンズ枠7自体に撮像素子のCCD6の保持機能を備えさせることで、レンズ枠7内へごみ等が進入し難くなる。

また、図42から明らかなように、結像光学系5の第1正レンズL1、第2負

レンズL2、第3正レンズL3の各々の外周8に、物体側程光軸に近づくよう傾斜させた傾斜面を設け、レンズ枠7にその傾斜面を当接して固定可能にすることにより、レンズ枠7へ像面側からレンズL1～L3を落とし込んで位置決め固定できるようになる。

また、図4-3に模式的分解斜視図を示すように、プラスチックで成形したレンズ枠7内に保持される結像光学系の第1正レンズL1の形状は、第1正レンズL1、第2負レンズL2は入射側からみて円形、第3正レンズL3は円形のレンズを基に、その上部と下部を切削した小判型の形状をしている。そして、各々のレンズL1～L3の外周8は絞りS側に傾斜している。レンズ枠7の内面もその傾きに対応して傾斜して成形されている。

このように、第1正レンズL1の形状を入射側からみて円形、第3正レンズL3の形状を、入射側から見たときに撮像素子のCCD6の有効撮像領域の短辺方向に対応する方向の長さがその有効撮像領域の長辺方向に対応する長さよりも短いものに構成することにより、結像光学系の第1正レンズL1、第2負レンズL2、第3正レンズL3を有効光束に沿ったレンズ外形にすることができ、ケラレを抑えつつ小型化ができる。なお、この例でも、レンズ枠7内に結像光学系5の第1正レンズL1、第2負レンズL2、第3正レンズL3の各々の外周8の傾斜面を当接して固定させるようにすることで、レンズ枠7内に像面側からレンズL1～L3を落とし込んで位置決め固定できる。

また、明るさ絞りSの開口の周辺面は、図4-2の断面図に示すように、レンズL1側に傾いて構成することが望ましく、その明るさ絞りSの開口の周辺面を、有効光束よりも傾斜角が大きく、実質的に最もレンズ側の角部が絞りの役目をするようにすることで、明るさ絞りSの開口部の外周面で反射した光束が撮像素子のCCD6に入射し難くなり、フレア、ゴーストの影響を低減することが可能になる。

以上の第4の発明の各実施例においても、表Aと図1-1～図1-4を参照にして説明した事項は同様に適用できる。また、第4の発明の撮像装置においても、図1-5～図2-4を参照にして説明した事項は同様に適用できる。詳細は、第1の発

明におけるそれらの説明を参照。

さて、以上のような第4の発明の撮像装置は、結像光学系で物体像を形成しその像をCCD等の撮像素子に受光させて撮影を行う撮影装置、とりわけデジタルカメラやビデオカメラ、情報処理装置の例であるパソコン、電話、特に持ち運びに便利な携帯電話等に用いることができる。以下に、その実施形態を例示する。

図25～図27は、第4の発明による結像光学系をデジタルカメラの撮影光学系41に組み込んだ構成の概念図を示す。図25はデジタルカメラ40の外観を示す前方斜視図、図26は同後方斜視図、図27はデジタルカメラ40の構成を示す断面図である。デジタルカメラ40は、この例の場合、撮影用光路42を有する撮影光学系41、ファインダー用光路44を有するファインダー光学系43、シャッター45、フラッシュ46、液晶表示モニター47等を含み、カメラ40の上部に配置されたシャッター45を押圧すると、それに連動して撮影光学系41、例えば実施例1の結像光学系を通して撮影が行われる。撮影光学系41によって形成された物体像が、近赤外カットコートを設けローパスフィルター作用を持たせたカバーガラスCGを介してCCD49の撮像面上に形成される。このCCD49で受光された物体像は、処理手段51を介し、電子画像としてカメラ背面に設けられた液晶表示モニター47に表示される。また、この処理手段51には記録手段52が接続され、撮影された電子画像を記録することもできる。なお、この記録手段52は処理手段51と別体に設けててもよいし、フロッピーディスクやメモリーカード、MO等により電子的に記録書込を行うように構成してもよい。また、CCD49に代わって銀塩フィルムを配置した銀塩カメラとして構成してもよい。

さらに、ファインダー用光路44上にはファインダー用対物光学系53が配置してある。このファインダー用対物光学系53によって形成された物体像は、像正立部材であるポリプリズム55の視野枠57上に形成される。このポリプリズム55の後方には、正立正像にされた像を観察者眼球Eに導く接眼光学系59が配置されている。なお、撮影光学系41及びファインダー用対物光学系53の入

射側、接眼光学系 5 9 の射出側にそれぞれカバー部材 5 0 が配置されている。

このように構成されたデジタルカメラ 4 0 は、撮影光学系 4 1 が高性能で小型であるので、高性能・小型化が実現できる。

なお、図 2 7 の例では、カバー部材 5 0 として平行平面板を配置しているが、パワーを持ったレンズを用いてもよい。

次に、第 4 の発明の結像光学系が対物光学系として内蔵された情報処理装置の 1 例であるパソコンが図 2 8 ～図 3 0 に示される。図 2 8 はパソコン 3 0 0 のカバーを開いた前方斜視図、図 2 9 はパソコン 3 0 0 の撮影光学系 3 0 3 の断面図、図 3 0 は図 2 8 の状態の側面図である。図 2 8 ～図 3 0 に示されるように、パソコン 3 0 0 は、外部から操作者が情報を入力するためのキーボード 3 0 1 と、図示を省略した情報処理手段や記録手段と、情報を操作者に表示するモニター 3 0 2 と、操作者自身や周辺の像を撮影するための撮影光学系 3 0 3 とを有している。ここで、モニター 3 0 2 は、図示しないバックライトにより背面から照明する透過型液晶表示素子や、前面からの光を反射して表示する反射型液晶表示素子や、CRTディスプレイ等であってよい。また、図中、撮影光学系 3 0 3 は、モニター 3 0 2 の右上に内蔵されているが、その場所に限らず、モニター 3 0 2 の周囲や、キーボード 3 0 1 の周囲のどこであってもよい。

この撮影光学系 3 0 3 は、撮影光路 3 0 4 上に、第 4 の発明による結像光学系（図では略記）からなる対物レンズ 1 1 2 と、像を受光する撮像素子チップ 1 6 2 とを有している。これらはパソコン 3 0 0 に内蔵されている。

ここで、撮像素子チップ 1 6 2 上にはローパスフィルター作用を持たせたカバーガラス CG が付加的に貼り付けられて撮像ユニット 1 6 0 として一体に形成され、対物レンズ 1 1 2 の鏡枠 1 1 3 の後端にワンタッチで嵌め込まれて取り付け可能になっているため、対物レンズ 1 1 2 と撮像素子チップ 1 6 2 の中心合わせや面間隔の調整が不要であり、組立が簡単となっている。また、鏡枠 1 1 3 の先端には、対物レンズ 1 1 2 を保護するためのカバーガラス 1 1 4 が配置されている。

撮像素子チップ 1 6 2 で受光された物体像は、端子 1 6 6 を介して、パソコン

300の処理手段に入力され、電子画像としてモニター302に表示される、図28には、その1例として、操作者の撮影された画像305が示されている。また、この画像305は、処理手段を介し、インターネットや電話を介して、遠隔地から通信相手のパソコンに表示されることも可能である。

次に、第4の発明の結像光学系が撮影光学系として内蔵された情報処理装置の1例である電話、特に持ち運びに便利な携帯電話が図31に示される。図31(a)は携帯電話400の正面図、図31(b)は側面図、図31(c)は撮影光学系405の断面図である。図31(a)～(c)に示されるように、携帯電話400は、操作者の声を情報として入力するマイク部401と、通話相手の声を出力するスピーカ部402と、操作者が情報を入力する入力ダイアル403と、操作者自身や通話相手等の撮影像と電話番号等の情報を表示するモニター404と、撮影光学系405と、通信電波の送信と受信を行うアンテナ406と、画像情報や通信情報、入力信号等の処理を行う処理手段(図示せず)とを有している。ここで、モニター404は液晶表示素子である。また、図中、各構成の配置位置は、特にこれらに限られない。この撮影光学系405は、撮影光路407上に配置された第4の発明による結像光学系(図では略記)からなる対物レンズ112と、物体像を受光する撮像素子チップ162とを有している。これらは、携帯電話400に内蔵されている。

ここで、撮像素子チップ162上にはローパスフィルター作用を持たせたカバーガラスCGが付加的に貼り付けられて撮像ユニット160として一体に形成され、対物レンズ112の鏡枠113の後端にワンタッチで嵌め込まれて取り付け可能になっているため、対物レンズ112と撮像素子チップ162の中心合わせや面間隔の調整が不要であり、組立が簡単となっている。また、鏡枠113の先端には、対物レンズ112を保護するためのカバーガラス114が配置されている。

撮影素子チップ162で受光された物体像は、端子166を介して、図示していない処理手段に入力され、電子画像としてモニター404に、又は、通信相手のモニターに、又は、両方に表示される。また、通信相手に画像を送信する場合

、撮像素子チップ 162 で受光された物体像の情報を、送信可能な信号へと変換する信号処理機能が処理手段には含まれている。

以上の各実施例は、前記の特許請求の範囲の構成に合わせて種々変更することができる。

なお、第 4 の発明において次のように結像光学系及びそれを用いた撮像装置を構成することもできる。

以上の第 4 の発明の結像光学系及びそれを用いた撮像装置は、例えば次のように構成構成することができる。

[1] 物体側から順に、明るき絞り、像側に凸面を向けた第 1 正メニスカスレンズ、第 2 負レンズ、第 3 正レンズの順に配置され、次の条件式を満たすことを特徴とする結像光学系。

$$-0.55 < f_2 / f_3 < -0.1 \quad \dots (41)$$

ただし、 f_2 は第 2 負レンズの焦点距離、 f_3 は第 3 正レンズの焦点距離である。

[2] 次の条件式を満たすことを特徴とする上記 1 記載の結像光学系。

$$-0.5 < f_2 / f_3 < -0.15 \quad \dots (41-1)$$

[3] 物体側から順に、明るき絞り、像側に凸面を向けた第 1 正メニスカスレンズ、第 2 負レンズ、第 3 正レンズの順に配置され、次の条件式を満たすことを特徴とする結像光学系。

$$-2.0 < (r_{3f} + r_{3r}) / (r_{3f} - r_{3r}) < 0.85 \quad \dots (42)$$

$$0.1 < \beta_3 < 1.0 \quad \dots (43)$$

ただし、 r_{3f} は第 3 正レンズの物体側面の光軸上曲率半径、 r_{3r} は第 3 正レンズの像側面の光軸上曲率半径、 β_3 は第 3 正レンズの横倍率である。

[4] 第 3 正レンズは両面共正パワーを持つ両凸形状であり、次の条件式を満たすことを特徴とする上記 3 記載の結像光学系。

$$-0.95 < (r_{3f} + r_{3r}) / (r_{3f} - r_{3r}) < 0.85 \quad \dots (42-2)$$

[5] 第 3 正レンズは物体側に凸のメニスカス形状形状であり、次の条件

式を満たすことを特徴とする上記 3 記載の結像光学系。

$$-2.0 < (r_{3f} + r_{3r}) / (r_{3f} - r_{3r}) < -1.0 \dots (42-4)$$

[6] 次の条件式を満たすことを特徴とする上記 3 から 5 の何れか 1 項記載の結像光学系。

$$0.2 < \beta_3 < 0.8 \dots (43-1)$$

[7] 上記 1 から 6 の何れか 1 項において、次の条件式を満たすことを特徴とする結像光学系。

$$0.1 < r_{2r} / r_{3f} < 1.0 \dots (44)$$

ただし、 r_{2r} は第 2 負レンズの像側面の光軸上曲率半径、 r_{3f} は第 3 正レンズの物体側面の光軸上曲率半径である。

[8] 上記 7 において、次の条件式を満たすことを特徴とする結像光学系。

$$0.1 < r_{2r} / r_{3f} < 0.5 \dots (44-1)$$

[9] 上記 1 から 8 の何れか 1 項において、次の条件式を満たすことを特徴とする結像光学系。

$$-0.25 < r_{1r} / r_{3r} < 0.6 \dots (45)$$

ただし、 r_{1r} は第 1 正レンズの像側面の光軸上曲率半径、 r_{3r} は第 3 正レンズの像側面の光軸上曲率半径である。

[10] 上記 9 において、次の条件式を満たすことを特徴とする結像光学系。

$$-0.2 < r_{1r} / r_{3r} < 0.45 \dots (45-1)$$

[11] 上記 1 から 10 の何れか 1 項において、次の条件式を満たすことを特徴とする結像光学系。

$$1.40 < n_3 < 1.66 \dots (46)$$

ただし、 n_3 は第 3 正レンズの屈折率である。

[12] 上記 11 において、次の条件式を満たすことを特徴とする結像光学系。

$$1.45 < n_3 < 1.60 \dots (46-1)$$

[13] 上記1から12の何れか1項において、次の条件式を満たすことと特徴とする結像光学系。

$$1. \quad 0 < (r_{1f} + r_{1r}) / (r_{1f} - r_{1r}) < 2.5 \quad \dots \quad (47)$$

ただし、 r_{1f} は第1正レンズの物体側面の光軸上曲率半径、 r_{1r} は第1正レンズの像側面の光軸上曲率半径である。

[14] 上記13において、次の条件式を満たすことを特徴とする結像光学系。

$$1. \quad 0 < (r_{1f} + r_{1r}) / (r_{1f} - r_{1r}) < 1.7 \quad \dots \quad (47-1)$$

[15] 上記7において、次の条件式を満たすことを特徴とする結像光学系。

$$-1. \quad 0 < f_2 / I_h < -0.05 \quad \dots \quad (48)$$

ただし、 f_2 は第2負レンズの焦点距離、 I_h は最大像高である。

[16] 上記1から15の何れか1項において、少なくとも第3正レンズの物体側の面は非球面からなり、次の条件式を満たすことを特徴とする結像光学系。

$$0. \quad 0.1 < |(r_{3fs} + r_{3fa}) / (r_{3fs} - r_{3fa}) - 1| < 1.00 \quad \dots \quad (49)$$

ただし、 r_{3fs} は第3正レンズの物体側面における光軸上曲率半径、 r_{3fa} は第3正レンズの物体側面の非球面を考慮した曲率半径の中の最大像高の主光線が通過するポイントより内側の範囲で光軸上曲率半径との差が最も変化したときの値である。

[17] 上記16において、次の条件式を満たすことを特徴とする結像光学系。

$$0. \quad 0.5 < |(r_{2fs} + r_{2fa}) / (r_{2fs} - r_{2fa}) - 1| < 1.0 \quad \dots \quad (49-1)$$

[18] 上記1から17の何れか1項において、少なくとも第3正レンズの像側の面は非球面からなり、次の条件式を満たすことを特徴とする結像光学系。

$$0.01 < |(r_{3rs} + r_{3ra}) / (r_{3rs} - r_{3ra}) - 1| < 100 \quad \dots (50)$$

ただし、 r_{3rs} は第 3 正レンズの像側面における光軸上曲率半径、 r_{3ra} は第 3 正レンズの像側面の非球面を考慮した曲率半径の中の最大像高の主光線が通過するポイントより内側の範囲で光軸上曲率半径との差が最も変化したときの値である。

[19] 上記 18において、次の条件式を満たすことを特徴とする結像光学系。

$$0.05 < |(r_{3rs} + r_{3ra}) / (r_{3rs} - r_{3ra}) - 1| < 10 \quad \dots (50-1)$$

[20] 上記 1 から 20 の何れか 1 項において、次の条件式を満たすことを特徴とする結像光学系。

$$10^\circ < \alpha < 40^\circ \quad \dots (51)$$

ただし、 α は最大像高における主光線の像面への入射角度である。

[21] 上記 20において、次の条件式を満たすことを特徴とする結像光学系。

$$15^\circ < \alpha < 35^\circ \quad \dots (51-1)$$

[22] 上記 1 から 21 の何れか 1 項記載の結像光学系と、その像側に配された電子撮像素子を備えたことを特徴とする電子撮像装置。

第 4 の発明により、高性能で小型で半画角が 35° 程度の広角の結像光学系とそれを用いた小型で高性能の撮像装置を得ることができる。

以下に、第 5 の発明の結像光学系の実施例 1～5 について説明する。実施例 1～3 の無限遠物点合焦時のレンズ断面図をそれぞれ図 64～図 66 に示す。図中、明るさ絞りは S、第 1 正レンズは L1、第 2 負レンズは L2、第 3 正レンズは L3、電子撮像素子のカバーガラスは CG、像面は I で示してある。なお、カバーガラス CG の表面に波長域制限用の多層膜を施してもよい。また、そのカバーガラス CG にローパスフィルター作用を持たせるようにしてもよい。

実施例 1 の結像光学系は、図 6 4 に示すように、物体側から順に、明るさ絞り S、像側に凸面を向けた両面非球面の第 1 正メニスカスレンズ L 1、物体側に凸面を向けた両面非球面の第 2 負メニスカスレンズ L 2、両凸の両面非球面の第 3 正レンズ L 3、カバーガラス CG から構成されている。本実施例では、第 1 レンズ L 1 ~ 第 3 レンズ L 3 は全てプラスチックからなり、第 1 レンズ L 1、第 3 レンズ L 3 はアモルファスピリオレフィン系のゼオネックス（商品名）、第 2 レンズ L 2 はポリカーボネイトから構成されている。

また、本実施例の仕様は、焦点距離 $f = 3.3 \text{ mm}$ 、像高 2.4 mm であり、半画角 $\omega = 36^\circ$ の広角の光学系である。また、各レンズのそれぞれの光学有効径（片側）は、第 2 面 r_2 ~ 第 7 面 r_7 の順に、 0.610 mm , 0.953 mm , 1.341 mm , 1.245 mm , 1.438 mm , 1.884 mm である。

実施例 2 の結像光学系は、図 6 5 に示すように、物体側から順に、明るさ絞り S、像側に凸面を向けた両面非球面の第 1 正メニスカスレンズ L 1、物体側に凸面を向けた両面非球面の第 2 負メニスカスレンズ L 2、物体側に凸面を向けた両面非球面の第 3 正メニスカスレンズ L 3、カバーガラス CG から構成されている。本実施例では、第 1 レンズ L 1 ~ 第 2 レンズ L 2 はガラス、第 3 レンズ L 3 はプラスチックからなり、第 3 レンズ L 3 はアモルファスピリオレフィン系のゼオネックスで構成されている。

また、本実施例の仕様は、焦点距離 $f = 3.3 \text{ mm}$ 、像高 2.4 mm であり、半画角 $\omega = 36^\circ$ の広角の光学系である。また、各レンズのそれぞれの光学有効径（片側）は、第 2 面 r_2 ~ 第 7 面 r_7 の順に、 0.630 mm , 0.942 mm , 1.245 mm , 1.202 mm , 1.350 mm , 1.599 mm である。

実施例 3 の結像光学系は、図 6 6 に示すように、物体側から順に、明るさ絞り S、像側に凸面を向けた両面非球面の第 1 正メニスカスレンズ L 1、物体側に凸面を向けた両面非球面の第 2 負メニスカスレンズ L 2、両凸の両面非球面の第 3 正レンズ L 3、カバーガラス CG から構成されている。本実施例では、第 1 レン

ズL 1～第3レンズL 3は全てプラスチックからなり、第1レンズL 1、第3レンズL 3はアモルファスポリオレフィン系のゼオネックス（商品名）、第2レンズL 2はポリカーボネイトから構成されている。

また、本実施例の仕様は、焦点距離 $f = 3.3 \text{ mm}$ 、像高 2.4 mm であり、半画角 $\omega = 36^\circ$ の広角の光学系である。また、各レンズのそれぞれの光学有効径（片側）は、第2面 r_2 ～第7面 r_7 の順に、 0.640 mm , 0.986 mm , 1.226 mm , 1.252 mm , 1.845 mm , 2.053 mm である。

以下に、上記各実施例の数値データを示すが、記号は上記の外、 r_1 、 r_2 …は各レンズ面の曲率半径、 d_1 、 d_2 …は各レンズ面間の間隔、 n_{d1} 、 n_{d2} …は各レンズのd線の屈折率、 ν_{d1} 、 ν_{d2} …は各レンズのアッベ数である。なお、非球面形状は、前記の式（a）に表される。

Example 1

$r_1 = \infty$ (Stop)	$d_1 = 0.1200$	
$r_2 = -2.6726$ (Aspheric)	$d_2 = 0.9687$	$n_{d1} = 1.49241$ $\nu_{d1} = 57.66$
$r_3 = -0.9138$ (Aspheric)	$d_3 = 0.1000$	
$r_4 = 2.8532$ (Aspheric)	$d_4 = 0.8000$	$n_{d2} = 1.58423$ $\nu_{d2} = 30.49$
$r_5 = 0.9461$ (Aspheric)	$d_5 = 0.6800$	
$r_6 = 3.3561$ (Aspheric)	$d_6 = 1.2969$	$n_{d3} = 1.49241$ $\nu_{d3} = 57.66$
$r_7 = -5.5439$ (Aspheric)	$d_7 = 0.5000$	
$r_8 = \infty$	$d_8 = 1.0000$	$n_{d4} = 1.51633$ $\nu_{d4} = 64.14$
$r_9 = \infty$	$d_9 = 0.1749$	
$r_{10} = \infty$ (Image Plane)		

Aspherical Coefficients

2nd surface

$K = 0$

$A_4 = -1.2923 \times 10^{-1}$

$$A_6 = -2.6271 \times 10^{-2}$$

$$A_8 = -7.6282 \times 10^{-2}$$

$$A_{10} = 0.0000$$

3 rd surface

$$K = -2.6868$$

$$A_4 = -1.5367 \times 10^{-1}$$

$$A_6 = 5.0013 \times 10^{-2}$$

$$A_8 = -4.5494 \times 10^{-2}$$

$$A_{10} = 0.0000$$

4 th surface

$$K = -18.3300$$

$$A_4 = 8.0480 \times 10^{-2}$$

$$A_6 = -8.9950 \times 10^{-3}$$

$$A_8 = 7.8434 \times 10^{-4}$$

$$A_{10} = 0.0000$$

5 th surface

$$K = -4.2745$$

$$A_4 = 2.7143 \times 10^{-2}$$

$$A_6 = 1.4933 \times 10^{-2}$$

$$A_8 = 1.3242 \times 10^{-4}$$

$$A_{10} = 0.0000$$

6 th surface

$$K = -34.8663$$

$$A_4 = 3.2814 \times 10^{-2}$$

$$A_6 = -4.4307 \times 10^{-2}$$

$$A_8 = 2.3091 \times 10^{-2}$$

$$A_{10} = -5.9202 \times 10^{-3}$$

7 th surface

$$K = 7.2292$$

$$A_4 = 1.3056 \times 10^{-2}$$

$$A_6 = 2.3976 \times 10^{-3}$$

$$A_8 = -1.2672 \times 10^{-3}$$

$$A_{10} = -8.5404 \times 10^{-5}$$

Example 2

$r_1 = \infty$ (絞り)	$d_1 = 0.1500$	
$r_2 = -3.5483$ (Aspheric)	$d_2 = 0.9441$	$n_{d1} = 1.52542 \nu_{d1} = 55.78$
$r_3 = -0.7869$ (Aspheric)	$d_3 = 0.1000$	
$r_4 = 5.1411$ (Aspheric)	$d_4 = 0.6000$	$n_{d2} = 1.58423 \nu_{d2} = 30.49$
$r_5 = 0.8668$ (Aspheric)	$d_5 = 0.5579$	
$r_6 = 2.7069$ (Aspheric)	$d_6 = 0.7310$	$n_{d3} = 1.52542 \nu_{d3} = 55.78$
$r_7 = 40.9062$ (Aspheric)	$d_7 = 0.5000$	
$r_8 = \infty$	$d_8 = 1.0000$	$n_{d4} = 1.51633 \nu_{d4} = 64.10$
$r_9 = \infty$	$d_9 = 0.5575$	
$r_{10} = \infty$ (Image Plane)		

Aspherical Coefficients

2nd surface

$$K = 4.8164$$

$$A_4 = -2.0149 \times 10^{-1}$$

$$A_6 = 1.6121 \times 10^{-1}$$

$$A_8 = -7.0842 \times 10^{-1}$$

$$A_{10} = 4.7295 \times 10^{-1}$$

3rd surface

$$K = -3.2085$$

$$A_4 = -1.9378 \times 10^{-1}$$

$$A_6 = -1.2206 \times 10^{-2}$$

$$A_8 = 8.1481 \times 10^{-2}$$

$$A_{10} = -1.0139 \times 10^{-1}$$

4 th surface

$$K = 0$$

$$A_4 = 5.3097 \times 10^{-2}$$

$$A_6 = 2.9052 \times 10^{-2}$$

$$A_8 = -1.8627 \times 10^{-2}$$

$$A_{10} = 1.7525 \times 10^{-3}$$

5 th surface

$$K = -5.2416$$

$$A_4 = 3.9126 \times 10^{-2}$$

$$A_6 = 3.2573 \times 10^{-2}$$

$$A_8 = 2.9813 \times 10^{-3}$$

$$A_{10} = -7.9290 \times 10^{-3}$$

6 th surface

$$K = 0$$

$$A_4 = -8.4473 \times 10^{-2}$$

$$A_6 = 3.2379 \times 10^{-2}$$

$$A_8 = -1.0481 \times 10^{-2}$$

$$A_{10} = 2.9594 \times 10^{-4}$$

7 th surface

$$K = 0$$

$$A_4 = 1.3909 \times 10^{-2}$$

$$A_6 = -9.6102 \times 10^{-3}$$

$$A_8 = 1.8961 \times 10^{-3}$$

$$A_{10} = -9.8080 \times 10^{-4}$$

Example 3

$r_1 = \infty$ (絞り)	$d_1 = 0.1500$	
$r_2 = -4.4414$ (Aspheric)	$d_2 = 1.0851$	$n_{d1} = 1.52542 \nu_{d1} = 55.78$
$r_3 = -0.7656$ (Aspheric)	$d_3 = 0.1025$	
$r_4 = 7.3594$ (Aspheric)	$d_4 = 0.6000$	$n_{d2} = 1.58423 \nu_{d2} = 30.49$
$r_5 = 0.8221$ (Aspheric)	$d_5 = 0.8483$	
$r_6 = 3.5100$ (Aspheric)	$d_6 = 1.1893$	$n_{d3} = 1.52542 \nu_{d3} = 55.78$
$r_7 = -5.2488$ (Aspheric)	$d_7 = 0.5000$	
$r_8 = \infty$	$d_8 = 1.0000$	$n_{d4} = 1.51633 \nu_{d4} = 64.14$
$r_9 = \infty$	$d_9 = 0.1653$	
$r_{10} = \infty$ (Image Plane)		

Aspherical Coefficients

2nd surface

$$K = -2.6276$$

$$A_4 = -1.8738 \times 10^{-1}$$

$$A_6 = 1.9184 \times 10^{-1}$$

$$A_8 = -8.9468 \times 10^{-1}$$

$$A_{10} = 7.5040 \times 10^{-1}$$

3rd surface

$$K = -3.0386$$

$$A_4 = -1.7124 \times 10^{-1}$$

$$A_6 = -1.4963 \times 10^{-3}$$

$$A_8 = 2.4987 \times 10^{-2}$$

$$A_{10} = -4.2838 \times 10^{-2}$$

4th surface

$$K = 0$$

$$A_4 = 5.9413 \times 10^{-3}$$

$$A_6 = 1.5563 \times 10^{-2}$$

$$A_8 = -3.3203 \times 10^{-3}$$

$$A_{10} = 1.6576 \times 10^{-4}$$

5 th surface

$$K = -4.8199$$

$$A_4 = 1.5380 \times 10^{-2}$$

$$A_6 = 2.1836 \times 10^{-2}$$

$$A_8 = -1.2885 \times 10^{-2}$$

$$A_{10} = 3.1166 \times 10^{-3}$$

6 th surface

$$K = 0$$

$$A_4 = -4.6658 \times 10^{-2}$$

$$A_6 = 2.1561 \times 10^{-2}$$

$$A_8 = -4.3006 \times 10^{-3}$$

$$A_{10} = 1.7143 \times 10^{-4}$$

7 th surface

$$K = -57.2784$$

$$A_4 = -3.2297 \times 10^{-2}$$

$$A_6 = 1.4832 \times 10^{-2}$$

$$A_8 = -1.5028 \times 10^{-3}$$

$$A_{10} = -1.6629 \times 10^{-4}$$

上記実施例 1 ~ 3 の無限遠にフォーカシングした場合の収差図をそれぞれ図 6
7 ~ 図 6 9 に示す。これら収差図において、“S A” は球面収差、“A S” は非
点収差、“D T” は歪曲収差、“C C” は倍率色収差を示す。また、各収差図中
、“ ω ” は半画角を示す。

次に、上記各実施例における条件 (61) ~ (71) の値を示す。

条件式	実施例 1	実施例 2	実施例 3
(61)	-0.32	-0.15	-0.10
(62)	-0.97	-0.91	-0.93

(63)	0.85	1.90	2.10
(64)	-0.64	-0.34	-0.39
(65)	-0.25	-1.14	-0.20
(66)	1.99	1.41	1.25
(67)	5.98	1.65	1.84
(68)	4.30	3.85	3.30
(69)	2.03	2.84	5.15
(70)	2.08	0.34	15.06
(71)	21.6°	29.8°	18.7°

上記各実施例は小型でありながら、図67～図69の収差図に示すように、良好な画像が得られている。

また、第5の発明の以上の実施例において、プラスチックで構成しているレンズをガラスで構成するようにしてもよい。例えば何れかの実施例のプラスチックより屈折率の高いガラスを用いれば、さらに高性能を達成できるのは言うまでもない。また、特殊低分散ガラスを用いれば、色収差の補正に効果があるのは言うまでもない。特にプラスチックで構成する場合には、低吸湿材料を用いることにより、環境変化による性能劣化が軽減されるので好ましい（例えば、日本ゼオン社のゼオネックス（商品名）等がある）。

また、ゴースト、フレア等の不要光をカットするために、明るさ絞りS以外にフレア絞りを配置してもよい。以上の実施例において、明るさ絞りSから第1レンズL1間、第1レンズL1と第2レンズL2間、第2レンズL2と第3レンズL3間、第3レンズL3と像面I間の何れの場所にフレア絞りを配置してもよい。また、枠によりフレア光線をカットするように構成してもよいし、別の部材を用いてフレア絞りを構成してもよい。また、光学系に直接印刷しても、塗装しても、シール等を接着しても構わない。また、その形状は、円形、楕円形、矩形、多角形、関数曲線で囲まれる範囲等、いかなる形状でも構わない。また、有害光束をカットするだけでなく、画面周辺のコマフレア等の光束をカットするようにしてもよい。

また、各レンズには、反射防止コートを行い、ゴースト、フレアを軽減しても構わない。マルチコートであれば、効果的にゴースト、フレアを軽減できるので望ましい。また、赤外カットコートをレンズ面、カバーガラス等に行っててもよい。

また、ピント調節を行うためにフォーカシングを行うようにしてもよい。レンズ系全体を繰り出してフォーカスを行ってもよいし、一部のレンズを繰り出すか、若しくは、繰り込みをしてフォーカスするようにしてもよい。

また、画像周辺部の明るさ低下をCCDのマイクロレンズをシフトすることにより軽減するようにしてもよい。例えば、各像高における光線の入射角に合わせて、CCDのマイクロレンズの設計を変えてよい。また、画像処理により画像周辺部の低下量を補正するようにしてもよい。

図70は、上記実施例1の結像光学系5とその像面Iに配置されるCCDユニット6とを、樹脂材で一体成形したレンズ枠7に固定する構成例の、結像光学系5の光軸を含みCCDユニット6の像面Iの対角方向に取った断面図であり、明るさ絞りSは樹脂製のレンズ枠7に一体成形している。このようにすると、結像光学系5を保持するレンズ枠7の製造が容易になる。また、レンズ枠7に明るさ絞りSの構成を一体化させることで、製造工程を大幅に削減し、また、このレンズ枠7自体に撮像素子のCCDを含むCCDユニット6の保持機能を備えさせることで、レンズ枠7内へごみ等が進入し難くなる。

また、図70から明らかなように、結像光学系5の第1正レンズL1、第2負レンズL2、第3正レンズL3の各々の外周8に、物体側程光軸に近づくよう傾斜させた傾斜面8を設け、レンズ枠7にその傾斜面を当接して固定可能にすることにより、レンズ枠7へ像面側からレンズL1～L3を落とし込んで位置決め固定できるようになる。

また、図71に模式的分解斜視図を示すように、プラスチックで成形したレンズ枠7内に保持される結像光学系の第1正レンズL1の形状は、第1正レンズL1入射側からみて円形、、第2負レンズL2、第3正レンズL3は円形のレンズを基に、その上部と下部を切削した小判型の形状をしている。そして、各々のレ

ンズL1～L3の外周8は絞りS側に傾斜している。レンズ枠7の内面もその傾きに対応して傾斜して成形されている。

このように、第1正レンズL1の形状を入射側からみて円形、第2負レンズL2、第3正レンズL3の形状を、入射側から見たときに撮像素子のCCDの有効撮像領域の短辺方向に対応する方向の長さがその有効撮像領域の長辺方向に対応する長さよりも短いものに構成することにより、結像光学系の第1正レンズL1、第2負レンズL2、第3正レンズL3を有効光束に沿ったレンズ外形にすることができ、ケラレを抑えつつ小型化ができる。なお、この例でも、レンズ枠7内に結像光学系5の第1正レンズL1、第2負レンズL2、第3正レンズL3の各々の外周8の傾斜面を当接して固定させるようにすることで、レンズ枠7内に像面側からレンズL1～L3を落とし込んで位置決め固定できる。

また、明るさ絞りSの開口の周辺面は、図70の断面図に示すように、レンズL1側に傾いて構成することが望ましく、その明るさ絞りSの開口の周辺面を、有効光束よりも傾斜角が大きく、実質的に最もレンズ側の角部が絞りの役目をするようにすることで、明るさ絞りSの開口部の外周面で反射した光束が撮像素子のCCDに入射し難くなり、フレア、ゴーストの影響を低減することが可能になる。

また、以上の第5の発明の実施例において、図70、図71に示すように、明るさ絞りSの直前にカバーガラス9を配置するようにしてもよい。

以上の第5の発明の各実施例においても、表Aと図11～図14を参照にして説明した事項は同様に適用できる。また、第5の発明の撮像装置においても、図15～図24を参照にして説明した事項は同様に適用できる。詳細は、第1の発明におけるそれらの説明を参照。

さて、以上のような第5の発明の撮像装置は、結像光学系で物体像を形成しその像をCCD等の撮像素子に受光させて撮影を行う撮影装置、とりわけデジタルカメラやビデオカメラ、情報処理装置の例であるパソコン、電話、特に持ち運びに便利な携帯電話等に用いることができる。以下に、その実施形態を例示する。

図25～図26、図72は、第5の発明による結像光学系をデジタルカメラの撮影光学系41に組み込んだ構成の概念図を示す。図25はデジタルカメラ40の外観を示す前方斜視図、図26は同後方斜視図、図72はデジタルカメラ40の構成を示す断面図である。デジタルカメラ40は、この例の場合、撮影用光路42を有する撮影光学系41、ファインダー用光路44を有するファインダー光学系43、シャッター45、フラッシュ46、液晶表示モニター47等を含み、カメラ40の上部に配置されたシャッター45を押圧すると、それに連動して撮影光学系41、例えば実施例1の結像光学系を通して撮影が行われる。撮影光学系41によって形成された物体像が、近赤外カットコートを設けローパスフィルター作用を持たせたカバーガラスCGを介してCCD49の撮像面上に形成される。このCCD49で受光された物体像は、処理手段51を介し、電子画像としてカメラ背面に設けられた液晶表示モニター47に表示される。また、この処理手段51には記録手段52が接続され、撮影された電子画像を記録することもできる。なお、この記録手段52は処理手段51と別体に設けててもよいし、フロッピーディスクやメモリーカード、MO等により電子的に記録書込を行うように構成してもよい。また、CCD49に代わって銀塩フィルムを配置した銀塩カメラとして構成してもよい。

さらに、ファインダー用光路44上にはファインダー用対物光学系53が配置してある。このファインダー用対物光学系53によって形成された物体像は、像正立部材であるポロプリズム55の視野枠57上に形成される。このポリプリズム55の後方には、正立正像にされた像を観察者眼球Eに導く接眼光学系59が配置されている。なお、撮影光学系41及びファインダー用対物光学系53の入射側、接眼光学系59の射出側にそれぞれカバー部材50が配置されている。

このように構成されたデジタルカメラ40は、撮影光学系41が高性能で小型であるので、高性能・小型化が実現できる。

なお、図72の例では、カバー部材50として平行平面板を配置しているが、パワーを持ったレンズを用いてもよい。

次に、第5の発明の結像光学系が対物光学系として内蔵された情報処理装置の

1例であるパソコンが図28、図73、図30に示される。図28はパソコン300のカバーを開いた前方斜視図、図73はパソコン300の撮影光学系303の断面図、図30は図28の状態の側面図である。図28、図73、図30に示されるように、パソコン300は、外部から操作者が情報を入力するためのキーボード301と、図示を省略した情報処理手段や記録手段と、情報を操作者に表示するモニター302と、操作者自身や周辺の像を撮影するための撮影光学系303とを有している。ここで、モニター302は、図示しないバックライトにより背面から照明する透過型液晶表示素子や、前面からの光を反射して表示する反射型液晶表示素子や、CRTディスプレイ等であってよい。また、図中、撮影光学系303は、モニター302の右上に内蔵されているが、その場所に限らず、モニター302の周囲や、キーボード301の周囲のどこであってもよい。

この撮影光学系303は、撮影光路304上に、第5の発明による結像光学系(図では略記)からなる対物レンズ112と、像を受光する撮像素子チップ162とを有している。これらはパソコン300に内蔵されている。

ここで、撮像素子チップ162上にはローパスフィルター作用を持たせたカバーガラスCGが付加的に貼り付けられて撮像ユニット160として一体に形成され、対物レンズ112の鏡枠113の後端にワンタッチで嵌め込まれて取り付け可能になっているため、対物レンズ112と撮像素子チップ162の中心合わせや面間隔の調整が不要であり、組立が簡単となっている。また、鏡枠113の先端には、対物レンズ112を保護するためのカバーガラス114が配置されている。

撮像素子チップ162で受光された物体像は、端子166を介して、パソコン300の処理手段に入力され、電子画像としてモニター302に表示される、図28には、その1例として、操作者の撮影された画像305が示されている。また、この画像305は、処理手段を介し、インターネットや電話を介して、遠隔地から通信相手のパソコンに表示されることも可能である。

次に、第5の発明の結像光学系が撮影光学系として内蔵された情報処理装置の1例である電話、特に持ち運びに便利な携帯電話が図74に示される。図74(

a) は携帯電話 400 の正面図、図 74 (b) は側面図、図 74 (c) は撮影光学系 405 の断面図である。図 74 (a) ~ (c) に示されるように、携帯電話 400 は、操作者の声を情報として入力するマイク部 401 と、通話相手の声を出力するスピーカ部 402 と、操作者が情報を入力する入力ダイアル 403 と、操作者自身や通話相手等の撮影像と電話番号等の情報を表示するモニター 404 と、撮影光学系 405 と、通信電波の送信と受信を行うアンテナ 406 と、画像情報や通信情報、入力信号等の処理を行う処理手段（図示せず）とを有している。ここで、モニター 404 は液晶表示素子である。また、図中、各構成の配置位置は、特にこれらに限られない。この撮影光学系 405 は、撮影光路 407 上に配置された第 5 の発明による結像光学系（図では略記）からなる対物レンズ 112 と、物体像を受光する撮像素子チップ 162 とを有している。これらは、携帯電話 400 に内蔵されている。

ここで、撮像素子チップ 162 上にはローパスフィルター作用を持たせたカバーガラス CG が付加的に貼り付けられて撮像ユニット 160 として一体に形成され、対物レンズ 112 の鏡枠 113 の後端にワンタッチで嵌め込まれて取り付け可能になっているため、対物レンズ 112 と撮像素子チップ 162 の中心合わせや面間隔の調整が不要であり、組立が簡単となっている。また、鏡枠 113 の先端には、対物レンズ 112 を保護するためのカバーガラス 114 が配置されている。

撮像素子チップ 162 で受光された物体像は、端子 166 を介して、図示していない処理手段に入力され、電子画像としてモニター 404 に、又は、通信相手のモニターに、又は、両方に表示される。また、通信相手に画像を送信する場合、撮像素子チップ 162 で受光された物体像の情報を、送信可能な信号へと変換する信号処理機能が処理手段には含まれている。

以上の各実施例は、前記の特許請求の範囲の構成に合わせて種々変更することができる。

なお、第 5 の発明において次のように結像光学系及びそれを用いた撮像装置を構成することもできる。

[1] 物体側から順に、明るさ絞り、像側に凸面を向けた第1正メニスカスレンズ、物体側に凸面を向けた第2負メニスカスレンズ、第3正レンズの順に配置され、次の条件式を満たすことを特徴とする結像光学系。

$$-0.35 < r_{1r} / r_{2f} < -0.08 \quad \dots \quad (61)$$

$$-1.5 < r_{1r} / r_{2r} < -0.75 \quad \dots \quad (62)$$

ただし、 r_{1r} は第1正レンズの像側面の光軸上曲率半径、 r_{2f} は第2負レンズの物体側面の光軸上曲率半径、 r_{2r} は第2負レンズの像側面の光軸上曲率半径である。

[2] 次の条件式の少なくとも何れかを満足することを特徴とする上記1記載の結像光学系。

$$-0.3 < r_{1r} / r_{2f} < -0.1 \quad \dots \quad (61-1)$$

$$-1.2 < r_{1r} / r_{2r} < -0.8 \quad \dots \quad (62-1)$$

[3] 物体側から順に、明るさ絞り、第1正レンズ、物体側に凸面を向けた第2負メニスカスレンズ、第3正レンズの順に配置され、次の条件式を満たすことを特徴とする結像光学系。

$$0.2 < r_{2f} / r_{3f} < 3.5 \quad \dots \quad (63)$$

ただし、 r_{2f} は第2負レンズの物体側面の光軸上曲率半径、 r_{3f} は第3正レンズの物体側面の光軸上曲率半径である。

[4] 次の条件式を満足することを特徴とする上記3記載の結像光学系。

$$0.4 < r_{2f} / r_{3f} < 2.5 \quad \dots \quad (63-1)$$

[5] 上記1から4の何れか1項において、次の条件式を満たすことを特徴とする結像光学系。

$$-0.7 < f_2 / f_3 < -0.1 \quad \dots \quad (64)$$

ただし、 f_2 は第2負レンズの焦点距離、 f_3 は第3正レンズの焦点距離である。

。

[6] 次の条件式を満足することを特徴とする上記5記載の結像光学系。

$$-0.5 < f_2 / f_3 < -0.25 \quad \dots (64-1)$$

[7] 上記1から6の何れか1項において、次の条件式を満たすことを特徴とする結像光学系。

$$-2.0 < (r_{3f} + r_{3r}) / (r_{3f} - r_{3r}) < 0.8 \quad \dots (65)$$

ただし、 r_{3f} は第3正レンズの物体側面の光軸上曲率半径、 r_{3r} は第3正レンズの像側面の光軸上曲率半径である。

[8] 次の条件式を満足することを特徴とする上記7記載の結像光学系。

$$-1.5 < (r_{3f} + r_{3r}) / (r_{3f} - r_{3r}) < 0.5 \quad \dots (65-1)$$

[9] 上記1から8の何れか1項において、次の条件式を満たすことを特徴とする結像光学系。

$$1.2 < (r_{2f} + r_{2r}) / (r_{2f} - r_{2r}) < 2.0 \quad \dots (66)$$

ただし、 r_{2f} は第2負レンズの物体側面の光軸上曲率半径、 r_{2r} は第2負レンズの像側面の光軸上曲率半径である。

[10] 次の条件式を満足することを特徴とする上記9記載の結像光学系。

$$1.4 < (r_{2f} + r_{2r}) / (r_{2f} - r_{2r}) < 1.8 \quad \dots (66-1)$$

[11] 上記1から10の何れか1項において、第2負レンズの物体側の面は非球面からなり、次の条件式を満たすことを特徴とする結像光学系。

$$0.01 < |(r_{2fs} + r_{2fa}) / (r_{2fs} - r_{2fa}) - 1| < 100 \quad \dots (67)$$

ただし、 r_{2fs} は第2負レンズの物体側面の光軸上曲率半径、 r_{2fa} は第2負レンズの物体側面の非球面を考慮した曲率半径の中の光学有効範囲内で光軸上曲率半径との差が最も変化したときの値である。

[12] 次の条件式を満足することを特徴とする上記11記載の結像光学系。

$$0.1 < |(r_{2fs} + r_{2fa}) / (r_{2fs} - r_{2fa}) - 1| < 10.0 \quad \dots (67-1)$$

[13] 上記1から12の何れか1項において、第2負レンズの像側の面は非球面からなり、次の条件式を満たすことを特徴とする結像光学系。

$$0.01 < |(r_{2rs} + r_{2ra}) / (r_{2rs} - r_{2ra}) - 1| < 100 \quad \dots (68)$$

ただし、 r_{2rs} は第2負レンズの像側面の光軸上曲率半径、 r_{2ra} は第2負レンズの像側面の非球面を考慮した曲率半径の中の光学有効範囲内で光軸上曲率半径との差が最も変化したときの値である。

[14] 次の条件式を満足することを特徴とする上記13記載の結像光学系。

$$0.05 < |(r_{2rs} + r_{2ra}) / (r_{2rs} - r_{2ra}) - 1| < 10.0 \quad \dots (68-1)$$

[15] 上記1から14の何れか1項において、第3正レンズの物体側の面は非球面からなり、次の条件式を満たすことを特徴とする結像光学系。

$$0.01 < |(r_{3fs} + r_{3fa}) / (r_{3fs} - r_{3fa}) - 1| < 100 \quad \dots (69)$$

ただし、 r_{3fs} は第3正レンズの物体側面の光軸上曲率半径、 r_{3fa} は第3正レンズの物体側面の非球面を考慮した曲率半径の中の最大像高の主光線が通過するポイントより内側の範囲で光軸上曲率半径との差が最も変化したときの値である。

[16] 次の条件式を満足することを特徴とする上記15記載の結像光学系。

$$0.05 < |(r_{3fs} + r_{3fa}) / (r_{3fs} - r_{3fa}) - 1| < 10 \quad \dots (69-1)$$

[17] 上記1から16の何れか1項において、第3正レンズの像側の面は非球面からなり、次の条件式を満たすことを特徴とする結像光学系。

$$0.01 < |(r_{3rs} + r_{3ra}) / (r_{3rs} - r_{3ra}) - 1| < 100 \quad \dots (70)$$

ただし、 r_{3rs} は第3正レンズの像側面の光軸上曲率半径、 r_{3ra} は第3正レン

ズの像側面の非球面を考慮した曲率半径の中の最大像高の主光線が通過するポイントより内側の範囲で光軸上曲率半径との差が最も変化したときの値である。

[18] 次の条件式を満足することを特徴とする上記17記載の結像光学系。

$$0.05 < |(r_{3rs} + r_{3ra}) / (r_{3rs} - r_{3ra}) - 1| < 1.0 \quad \dots (70-1)$$

[19] 上記1から18の何れか1項において、次の条件式を満たすことを特徴とする結像光学系。

$$10^\circ < \alpha < 40^\circ \quad \dots (71)$$

ただし、 α は最大像高における主光線の像面への入射角度である。

[20] 次の条件式を満たすことを特徴とする上記19記載の結像光学系。

$$15^\circ < \alpha < 35^\circ \quad \dots (71-1)$$

[21] 上記1から20の何れか1項記載の結像光学系と、その像側に配された電子撮像素子を備えたことを特徴とする電子撮像装置。

[22] 結像光学系の半画角が 30° よりも大きく 50° よりも小さいことを特徴とする上記21記載の結像光学系。

第5の発明により、製造誤差に対する性能劣化が少なく、全長短縮しても高性能な小型な結像光学系を得ることが可能である。

WHAT WE CLAIMS IS;

[1] 物体側から順に、明るさ絞りと、像側に凸面を向けた第1正メニスカスレンズと、両凹の第2負レンズと、第3正レンズの3枚のレンズからなり、レンズelementsの総枚数が3枚であることを特徴とする結像光学系。

[2] 物体側から順に、明るさ絞りと、像側に凸面を向けた第1正メニスカスレンズと、両凹の第2負レンズと、第3正レンズの3枚のレンズからなり、レンズelementsの総枚数が3枚である結像光学系を備えたことを特徴とする撮像装置。

[3] 前記3枚のレンズの像側に配された撮像素子を備えたことを特徴とするクレーム2記載の撮像装置。

[4] 3枚のレンズを各々単レンズとし、3枚のレンズにて形成される2つの空気レンズが、形状の異なる2つの屈折面に挟まれて構成されていることを特徴とするクレーム2記載の撮像装置。

[5] 前記2つの空気レンズが形状の異なる2つの非球面に挟まれて構成されたことを特徴とするクレーム4記載の撮像装置。

[6] 物体側から順に、明るさ絞りと、像側の光軸上曲率半径の絶対値が物体側の光軸上曲率半径の絶対値よりも小さい正単レンズの第1正レンズと、像側の光軸上曲率半径の絶対値が物体側の光軸上曲率半径の絶対値よりも小さい負単レンズの第2負レンズと、正単レンズの第3正レンズの3枚の単レンズからなる結像光学系と、その像側に配された撮像素子とを有し、以下の条件を満足し、前記結像光学系におけるレンズelementsの総枚数が3枚であることを特徴とする撮像装置。

$$0.30 < f_1 / I_h < 0.90 \quad \dots \quad (10)$$

$$-0.75 < f_2 / I_h < -0.1 \quad \dots \quad (3)$$

$$0.70 < f_3 / I_h < 2.00 \quad \dots \quad (11)$$

ただし、 f_1 は第1正レンズの焦点距離、 f_2 は第2負レンズの焦点距離、 f_3 は第3正レンズの焦点距離、 I_h は最大像高である。

[7] 物体側から順に、明るさ絞りと、像側の光軸上曲率半径の絶対値が物体側の光軸上曲率半径の絶対値よりも小さい正単レンズの第1正レンズと、像側の光軸上曲率半径の絶対値が物体側の光軸上曲率半径の絶対値よりも小さい負単レンズの第2負レンズと、正単レンズの第3正レンズの3枚の単レンズからなる結像光学系と、その像側に配された撮像素子とを有し、以下の条件を満足することを特徴とする撮像装置。

$$0.1 < f_1 / f < 0.46 \quad \dots \quad (9-3)$$

$$-0.75 < f_2 / f < -0.29 \quad \dots \quad (12)$$

$$0.40 < f_3 / f < 0.85 \quad \dots \quad (13)$$

ただし、 f_1 は第1正レンズの焦点距離、 f_2 は第2負レンズの焦点距離、 f_3 は第3正レンズの焦点距離、 f は全系の焦点距離である。

[8] 次の条件式を満足することを特徴とするクレーム2、6、7の何れか1項記載の撮像装置。

$$-0.5 < (r_{2f} + r_{2r}) / (r_{2f} - r_{2r}) < 0.98 \quad \dots \quad (1)$$

ただし、 r_{2f} は第2負レンズの物体側面の光軸上曲率半径、 r_{2r} は第2負レンズの像側面の光軸上曲率半径である。

[9] 次の条件式を満足することを特徴とするクレーム2又は7記載の撮像装置。

$$0.01 < r_{1r} / r_{2f} < 0.75 \quad \dots \quad (2)$$

ただし、 r_{1r} は第1正レンズの像側面の光軸上曲率半径、 r_{2f} は第2負レンズの物体側面の光軸上曲率半径である。

[10] 次の条件式を満足することを特徴とするクレーム2、6、7の何れか1項記載の撮像装置。

$$-0.75 < f_2 / I_h < -0.1 \quad \dots \quad (3)$$

ただし、 f_2 は第2負レンズの焦点距離、 I_h は最大像高である。

[11] 次の条件式を満足することを特徴とするクレーム2、6、7の何れか1項記載の撮像装置。

$$-5.0 < f_{2-3} / f < -0.1 \quad \dots \quad (4)$$

ただし、 f_{2-3} は第 2 負レンズと第 3 正レンズの合成焦点距離、 f は全系の焦点距離である。

[12] 次の条件式を満足することを特徴とするクレーム 2、6、7 の何れか 1 項記載の撮像装置。

$$-0.8 < f_2 / f_3 < -0.1 \quad \dots (5)$$

ただし、 f_2 は第 2 負レンズの焦点距離、 f_3 は第 3 正レンズの焦点距離である。

。

[13] 前記第 2 負レンズの物体側の面は非球面からなり、次の条件式を満たすことを特徴とするクレーム 2、6、7 の何れか 1 項記載の撮像装置。

$$0.01 < |(r_{2fs} + r_{2fa}) / (r_{2fs} - r_{2fa}) - 1| < 100 \quad \dots (6)$$

ただし、 r_{2fs} は第 2 負レンズの物体側面における光軸上の曲率半径、 r_{2fa} は第 2 負レンズの物体側面の非球面を考慮した曲率半径の中、光学有効範囲内で最も変化したときの値である。

[14] 前記第 2 負レンズの像側の面は非球面からなり、次の条件式を満足することを特徴とするクレーム 2、6、7 の何れか 1 項記載の撮像装置。

$$0.01 < |(r_{2rs} + r_{2ra}) / (r_{2rs} - r_{2ra}) - 1| < 100 \quad \dots (7)$$

ただし、 r_{2rs} は第 2 負レンズの像側面における光軸上の曲率半径、 r_{2ra} は第 2 負レンズの像側面の非球面を考慮した曲率半径の中、光学有効範囲内で最も変化したときの値である。

[15] 次の条件式を満たすことを特徴とするクレーム 2、6、7 の何れか 1 項記載の撮像装置。

$$10^\circ < \alpha < 40^\circ \quad \dots (8)$$

ただし、 α は最大像高における主光線の像面への入射角度である。

[16] 次の条件式を満足することを特徴とするクレーム 2 又は 6 記載の撮像装置。

$$0.1 < f_1 / f < 1.2 \quad \dots (9)$$

ただし、 f_1 は第 1 正レンズの焦点距離、 f は全系の焦点距離である。

[17] 物体側から順に、物体側から順に、明るさ絞りと、像側に凸面を向けた第 1 正メニスカスレンズと、第 2 負レンズと、第 3 正レンズの 3 枚のレンズからなる結像光学系を備え、次の条件式を満足し、前記結像光学系におけるレンズelements の総枚数が 3 枚であることを特徴とする撮像装置。

$$-0.75 < f_2 / I_h < -0.1 \quad \dots \quad (3)$$

ただし、 f_2 は第 2 負レンズの焦点距離、 I_h は最大像高である。

[18] 物体側から順に、明るさ絞り、第 1 正レンズ、第 2 負レンズ、第 3 正レンズの順に配置され、次の条件式を満たし、レンズelements の総枚数が 3 枚であることを特徴とする結像光学系。

$$1.5 < d / (f \cdot \tan \theta) < 3.0 \quad \dots \quad (21)$$

ただし、 d は結像光学系の明るさ絞り面から像面までの光軸に沿って測った距離、 θ は結像光学系の最大入射角、 f は全系の焦点距離である。

[19] 物体側から順に、明るさ絞り、像側に凸面を向けた第 1 正メニスカスレンズ、第 2 負レンズ、第 3 正レンズの順に配置され、次の条件式を満たし、レンズelements の総枚数が 3 枚であることを特徴とする結像光学系。

$$-5.0 < f_{2-3} / f < -0.5 \quad \dots \quad (22)$$

ただし、 f_{2-3} は第 2 負レンズと第 3 正レンズの合成焦点距離、 f は全系の焦点距離である。

[20] 物体側から、明るさ絞り、像側に凸面を向けた第 1 正レンズ、像側に凹面を向けた第 2 負レンズ、第 3 正レンズの順に配置された結像光学系、及び、その像側に配された撮像素子を有し、前記結像光学系におけるレンズelements の総枚数が 3 枚であり、前記明るさ絞りは、光軸が通過する開口形状が固定されており、かつ、開口部の外周面を像面側程光軸に近づくように、最軸外光束の入射角以上の傾斜角で傾斜させたことを特徴とする撮像装置。

[21] 物体側から、明るさ絞り、像側に凸面を向けた第 1 正レンズ、像側に凹面を向けた第 2 負レンズ、第 3 正レンズの順に配置された結像光学系、及び、その像側に配された撮像素子を有し、前記結像光学系におけるレンズelements

tsの総枚数が3枚であり、前記結像光学系と前記撮像素子を保持しつつ前記明るさ絞りを同一樹脂材で一体成形したレンズ枠を備えたことを特徴とする撮像装置。

[22] 物体側から、明るさ絞り、像側に凸面を向けた第1正レンズ、像側に凹面を向けた第2負レンズ、第3正レンズの順に配置された結像光学系、及び、その像側に配された撮像素子を有し、前記結像光学系におけるレンズelementsの総枚数が3枚であり、前記結像光学系を保持するレンズ枠を備え、少なくとも前記第1正レンズ、第3正レンズの各々の外周に、物体側程光軸に近づくよう傾斜させた傾斜部を設け、前記レンズ枠に前記傾斜部が当接していることを特徴とする撮像装置。

[23] 物体側から、明るさ絞り、像側に凸面を向けた第1正レンズ、像側に凹面を向けた第2負レンズ、第3正レンズの順に配置された結像光学系、及び、その像側に配された撮像素子を有し、前記結像光学系におけるレンズelementsの総枚数が3枚であり、前記結像光学系を保持するレンズ枠を備え、前記第1正レンズの形状が入射側から見たときに円形であり、前記第3正レンズの形状が、入射側から見たときに撮像素子の有効撮像領域の短辺方向に対応する方向の長さが有効撮像領域の長辺方向に対応する長さよりも短いことを特徴とする撮像装置。

[24] 物体側から順に、明るさ絞り、第1正レンズ、第2負レンズ、第3正レンズの順に配置され、少なくとも第1正レンズに非球面を有し、次の条件式を満たし、レンズelementsの総枚数が3枚であることを特徴とする結像光学系。

$$-5.0 < f_{2-3} / f < -0.5 \quad \dots (22)$$

ただし、 f_{2-3} は第2負レンズと第3正レンズの合成焦点距離、 f は全系の焦点距離である。

[25] 物体側から順に、明るさ絞り、第1正レンズ、第2負レンズ、第3正レンズの順に配置され、少なくとも第2負レンズに非球面を有し、次の条件式を満たし、レンズelementsの総枚数が3枚であることを特徴とする結像光学系

$$\bullet \quad -5.0 < f_{2-3} / f < -0.5 \quad \dots \quad (22)$$

ただし、 f_{2-3} は第 2 負レンズと第 3 正レンズの合成焦点距離、 f は全系の焦点距離である。

[26] 物体側から順に、明るさ絞り、像側に凸面を向けた第 1 正メニスカスレンズ、第 2 負レンズ、第 3 正レンズの順に配置され、次の条件式を満たし、レンズelementsの総枚数が 3 枚であることを特徴とする結像光学系。

$$0.2 < f_1 / f_3 < 0.58 \quad \dots \quad (23-1)$$

ただし、 f_1 は第 1 正レンズの焦点距離、 f_3 は第 3 正レンズの焦点距離である。

[27] 物体側から順に、明るさ絞り、像側に凸面を向けた第 1 正メニスカスレンズ、第 2 負レンズ、第 3 正レンズの順に配置され、次の条件式を満たし、レンズelementsの総枚数が 3 枚であることを特徴とする結像光学系。

$$0.1 < f_1 / f < 0.55 \quad \dots \quad (31)$$

ただし、 f_1 は第 1 正レンズの焦点距離、 f は全系の焦点距離である。

[28] 物体側から順に、明るさ絞り、像側に凸面を向けた第 1 正メニスカスレンズ、第 2 負レンズ、第 3 正レンズの順に配置され、次の条件式を満たし、レンズelementsの総枚数が 3 枚であることを特徴とする結像光学系。

$$1.0 < (r_{1f} + r_{1r}) / (r_{1f} - r_{1r}) < 1.7 \quad \dots \quad (32)$$

ただし、 r_{1f} は第 1 正レンズの物体側面の光軸上曲率半径、 r_{1r} は第 1 正レンズの像側面の光軸上曲率半径である。

[29] 物体側から順に、明るさ絞り、像側に凸を向けた第 1 正メニスカスレンズ、第 2 負レンズ、第 3 正レンズの順に配置され、次の条件式を満たし、レンズelementsの総枚数が 3 枚であることを特徴とする結像光学系。

$$1.0 < f_{1-2} / f < 4.0 \quad \dots \quad (34)$$

ただし、 f_{1-2} は第 1 レンズ、第 2 レンズの合成焦点距離、 f は全系の焦点距離である。

[30] 物体側から順に、明るさ絞り、像側に凸を向けた第 1 正メニスカ

スレンズ、第2負レンズ、第3正レンズの順に配置され、次の条件式を満たし、レンズelementsの総枚数が3枚であることを特徴とする結像光学系。

$$-0.25 < r_{2r} / r_{1f} < -0.01 \quad \dots \quad (36)$$

ただし、 r_{2r} は第2負レンズの像側面の光軸上曲率半径、 r_{1f} は第1正レンズの物体側面の光軸上曲率半径である。

[31] 物体側から順に、明るさ絞り、像側に凸面を向けた第1正メニスカスレンズ、第2負レンズ、第3正レンズの順に配置された結像光学系、及び、その像側に配された撮像素子を有し、前記結像光学系におけるレンズelementsの総枚数が3枚であり、前記明るさ絞りは、光軸が通過する開口形状が固定されており、かつ、開口部の外周面を像面側程光軸に近づくように、最軸外光束の入射角以上の傾斜角で傾斜させたことを特徴とする撮像装置。

[32] 物体側から順に、明るさ絞り、像側に凸面を向けた第1正メニスカスレンズ、第2負レンズ、第3正レンズの順に配置された結像光学系、及び、その像側に配された撮像素子を有し、前記結像光学系におけるレンズelementsの総枚数が3枚であり、前記結像光学系と前記撮像素子を保持しつつ前記明るさ絞りを同一樹脂材で一体成形したレンズ枠を備えたことを特徴とする撮像装置。

[33] 物体側から順に、明るさ絞り、像側に凸面を向けた第1正メニスカスレンズ、第2負レンズ、第3正レンズの順に配置された結像光学系、及び、その像側に配された撮像素子を有し、前記結像光学系におけるレンズelementsの総枚数が3枚であり、前記結像光学系を保持するレンズ枠を備え、少なくとも前記第1正レンズ、第3正レンズの各々の外周に、物体側程光軸に近づくよう傾斜させた傾斜部を設け、前記レンズ枠に前記傾斜部が当接していることを特徴とする撮像装置。

[34] 物体側から順に、明るさ絞り、像側に凸面を向けた第1正メニスカスレンズ、第2負レンズ、第3正レンズの順に配置された結像光学系、及び、その像側に配された撮像素子を有し、前記結像光学系におけるレンズelementsの総枚数が3枚であり、前記結像光学系を保持するレンズ枠を備え、前記第1正レンズの形状が入射側から見たときに円形であり、前記第3正レンズの形状が、入

射側から見たときに撮像素子の有効撮像領域の短辺方向に対応する方向の長さが有効撮像領域の長辺方向に対応する長さよりも短いことを特徴とする撮像装置。

[3 5] 物体側から順に、明るさ絞り、像側に凸面を向けた第1正メニスカスレンズ、第2負レンズ、第3正レンズの順に配置され、次の条件式を満たし、レンズelementsの総枚数が3枚であることを特徴とする結像光学系。

$$-0.55 < f_2 / f_3 < -0.1 \quad \dots \quad (41)$$

ただし、 f_2 は第2負レンズの焦点距離、 f_3 は第3正レンズの焦点距離である。
。

[3 6] 物体側から順に、明るさ絞り、像側に凸面を向けた第1正メニスカスレンズ、第2負レンズ、第3正レンズの順に配置され、次の条件式を満たし、レンズelementsの総枚数が3枚であることを特徴とする結像光学系。

$$-2.0 < (r_{3f} + r_{3r}) / (r_{3f} - r_{3r}) < 0.85 \quad \dots \quad (42)$$

$$0.1 < \beta_3 < 1.0 \quad \dots \quad (43)$$

ただし、 r_{3f} は第3正レンズの物体側面の光軸上曲率半径、 r_{3r} は第3正レンズの像側面の光軸上曲率半径、 β_3 は第3正レンズの横倍率である。

[3 7] 物体側から順に、明るさ絞り、像側に凸を向けた第1正メニスカスレンズ、第2負レンズ、第3正レンズの順に配置され、次の条件式を満たし、レンズelementsの総枚数が3枚であることを特徴とした結像光学系。

$$-0.8 < (r_{3f} + r_{3r}) / (r_{3f} - r_{3r}) < 0.15 \quad \dots \quad (42-6)$$

ただし、 r_{3f} は第3正レンズの物体側面の光軸上曲率半径、 r_{3r} は第3正レンズの像側面の光軸上曲率半径である。

[3 8] 物体側から順に、明るさ絞り、像側に凸を向けた第1正メニスカスレンズ、第2負レンズ、第3正レンズの順に配置され、次の条件式を満たし、レンズelementsの総枚数が3枚であることを特徴とした結像光学系。

$$0.1 < r_{2r} / r_{3f} < 0.23 \quad \dots \quad (44-3)$$

ただし、 r_{2r} は第2負レンズの像側面の光軸上曲率半径、 r_{3f} は第3正レンズの物体側面の光軸上曲率半径である。

[3 9] 物体側から順に、明るさ絞り、像側に凸を向けた第1正メニスカ

スレンズ、第2負レンズ、第3正レンズの順に配置され、次の条件式を満たし、レンズelementsの総枚数が3枚であることを特徴とした結像光学系。

$$-0.15 < r_{1r} / r_{3r} < 0.35 \quad \cdots (45-2)$$

ただし、 r_{1r} は第1正レンズの像側面の光軸上曲率半径、 r_{3r} は第3正レンズの像側面の光軸上曲率半径である。

[40] 物体側から順に、明るさ絞り、第1正レンズ、第2負レンズ、物体側に凸面を向けた第3正メニスカスレンズの順に配置されており、レンズelementsの総枚数が3枚であることを特徴とした結像光学系。

[41] 物体側から順に、明るさ絞り、像側に凸面を向けた第1正メニスカスレンズ、第2負レンズ、第3正レンズの順に配置された結像光学系、及び、その像側に配された撮像素子を有し、前記結像光学系におけるレンズelementsの総枚数が3枚であり、前記明るさ絞りは、光軸が通過する開口形状が固定されており、かつ、開口部の外周面を像面側程光軸に近づくように、最軸外光束の入射角以上の傾斜角で傾斜させたことを特徴とする撮像装置。

[42] 物体側から順に、明るさ絞り、像側に凸面を向けた第1正メニスカスレンズ、第2負レンズ、第3正レンズの順に配置された結像光学系、及び、その像側に配された撮像素子を有し、前記結像光学系におけるレンズelementsの総枚数が3枚であり、前記結像光学系と前記撮像素子を保持しつつ前記明るさ絞りを同一樹脂材で一体成形したレンズ枠を備えたことを特徴とする撮像装置。

[43] 物体側から順に、明るさ絞り、像側に凸面を向けた第1正メニスカスレンズ、第2負レンズ、第3正レンズの順に配置された結像光学系、及び、その像側に配された撮像素子を有し、前記結像光学系におけるレンズelementsの総枚数が3枚であり、前記結像光学系を保持するレンズ枠を備え、少なくとも前記第1正レンズ、第3正レンズの各々の外周に、物体側程光軸に近づくよう傾斜させた傾斜部を設け、前記レンズ枠に前記傾斜部が当接していることを特徴とする撮像装置。

[44] 物体側から順に、明るさ絞り、像側に凸面を向けた第1正メニスカスレンズ、第2負レンズ、第3正レンズの順に配置された結像光学系、及び、

その像側に配された撮像素子を有し、前記結像光学系におけるレンズelementsの総枚数が3枚であり、前記結像光学系を保持するレンズ枠を備え、前記第1正レンズの形状が入射側から見たときに円形であり、前記第3正レンズの形状が、入射側から見たときに撮像素子の有効撮像領域の短辺方向に対応する方向の長さが有効撮像領域の長辺方向に対応する長さよりも短いことを特徴とする撮像装置。

[45] 物体側から順に、明るさ絞り、像側に凸面を向けた第1正メニスカスレンズ、物体側に凸面を向けた第2負メニスカスレンズ、第3正レンズの順に配置され、次の条件式を満たし、レンズelementsの総枚数が3枚であることを特徴とする結像光学系。

$$-0.35 < r_{1r} / r_{2f} < -0.08 \quad \dots \quad (61)$$

$$-1.5 < r_{1r} / r_{2r} < -0.75 \quad \dots \quad (62)$$

ただし、 r_{1r} は第1正レンズの像側面の光軸上曲率半径、 r_{2f} は第2負レンズの物体側面の光軸上曲率半径、 r_{2r} は第2負レンズの像側面の光軸上曲率半径である。

[46] 物体側から順に、明るさ絞り、第1正レンズ、物体側に凸面を向けた第2負メニスカスレンズ、第3正レンズの順に配置され、次の条件式を満たし、レンズelementsの総枚数が3枚であることを特徴とする結像光学系。

$$0.2 < r_{2f} / r_{3f} < 3.5 \quad \dots \quad (63)$$

ただし、 r_{2f} は第2負レンズの物体側面の光軸上曲率半径、 r_{3f} は第3正レンズの物体側面の光軸上曲率半径である。

[47] 物体側から順に、明るさ絞り、像側に凸面を向けた第1正レンズ、第2負レンズ、第3正レンズの順に配置された結像光学系、及び、その像側に配された撮像素子を有し、前記結像光学系におけるレンズelementsの総枚数が3枚であり、前記明るさ絞りは、光軸が通過する開口形状が固定されており、かつ、開口部の外周面を像面側程光軸に近づくように、最軸外光束の入射角以上の傾斜角で傾斜させたことを特徴とする撮像装置。

[48] 物体側から順に、明るさ絞り、像側に凸面を向けた第1正レンズ、第2負レンズ、第3正レンズの順に配置された結像光学系、及び、その像側に

配された撮像素子を有し、前記結像光学系におけるレンズelementsの総枚数が3枚であり、前記結像光学系と前記撮像素子を保持しつつ前記明るさ絞りを同一樹脂材で一体成形したレンズ枠を備えたことを特徴とする撮像装置。

[49] 物体側から順に、明るさ絞り、像側に凸面を向けた第1正レンズ、第2負レンズ、第3正レンズの順に配置された結像光学系、及び、その像側に配された撮像素子を有し、前記結像光学系におけるレンズelementsの総枚数が3枚であり、前記結像光学系を保持するレンズ枠を備え、少なくとも前記第1正レンズ、第3正レンズの各々の外周に、物体側程光軸に近づくよう傾斜させた傾斜部を設け、前記レンズ枠に前記傾斜部が当接していることを特徴とする撮像装置。

[50] 物体側から順に、明るさ絞り、像側に凸面を向けた第1正レンズ、第2負レンズ、第3正レンズの順に配置された結像光学系、及び、その像側に配された撮像素子を有し、前記結像光学系におけるレンズelementsの総枚数が3枚であり、前記結像光学系を保持するレンズ枠を備え、前記第1正レンズの形状が入射側から見たときに円形であり、前記第3正レンズの形状が、入射側から見たときに撮像素子の有効撮像領域の短辺方向に対応する方向の長さが有効撮像領域の長辺方向に対応する長さよりも短いことを特徴とする撮像装置。

ABSTRACT

本発明は、高性能化と小型化を同時に満たす結像光学系及びそれを用いた撮像装置に関するものであり、物体側から順に、明るさ絞りSと、像側の光軸上曲率半径の絶対値が物体側の光軸上曲率半径の絶対値よりも小さい正単レンズの第1正レンズL1と、像側の光軸上曲率半径の絶対値が物体側の光軸上曲率半径の絶対値よりも小さい負単レンズの第2負レンズL2と、正単レンズの第3正レンズL3の3枚の単レンズからなる結像光学系と、その像面Iに配された撮像素子とを有する撮像装置である。